

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Zoologie

Studijní zaměření: Ekologie a etologie



Bc. Markéta Rejlová

Numerická kompetence u primátů

Numerical competence in primates

Diplomová práce

Školitelka: PhDr. RNDr. Tereza Nekovářová, Ph.D.

Praha, 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 10. 8. 2016

.....

podpis

Ráda bych na tomto místě poděkovala své školitelce RNDr. PhDr. Tereze Nekovářové, PhD. za její nezměrnou trpělivost a cenné rady i připomínky k mé diplomové práci. Velký dík patří mé kolegyni Mgr. Kateřině Englerové, která mi pomohla se stylistickou korekturou, dále také Mgr. Báře Žampachové za pomoc se statistickým zpracováním dat a doc. RNDr. Danielu Fryntovi, PhD. a Mgr. Evě Landové, PhD. za konzultace spojené s průběhem experimentů a sepsání mé práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat za podporu mé rodině a všem blízkým, kteří mě v průběhu studia podporovali.

Abstrakt

Numerické kompetence zahrnují řadu dílčích schopností jako je reprezentace množství a transformace nebo operace s množstvím. Mnoho druhů zvířat dokáže využívat tyto schopnosti, například během hledání potravy, při vyhledávání sexuálních partnerů a také při zjišťování počtu konkurentů nebo predátorů. Numerické schopnosti, jako je počítání nebo odhad množství, tak mohou zvyšovat šanci na přežití a reprodukci.

V této práci jsem shrnula některé dosavadní studie o numerických kompetencích primátů a člověka a také jsem zmínila experimenty prováděné s jinými druhy. Numerické schopnosti jsem rozčlenila do kapitol: odhadování početnosti (relativní a absolutní), počítání, sumace, zachování kvantity, proporce a ordinalita a transitivity.

Cílem mé práce bylo studovat schopnost makaků (*Macaca mulatta*) rozlišit relativní početnost mezi dvěma sety. V další části experimentů jsem v jednotlivých fázích sledovala jejich preferenci mezi velikostí a množstvím stimulů. Tuto preferenci jsem studovala i u dětí.

Výsledky potvrzují schopnost makaků rozlišit relativní početnost. Dokazují, že se zvyšujícím se rozdílem množství mezi dvěma sety se také zvyšuje schopnost lépe rozlišit tyto dvě kvantity.

Další výsledky ukazují, že opice nepreferují množství ani velikost odměny, zatímco děti preferují větší počet dílků před větším celkem.

Klíčová slova: numerické schopnosti, relativní početnost, Weberův zákon, preference, primáti, makak rhesus, děti

Abstract

Numerical competences include the number of abilities as representation of the quantity and transformations or operations with quantity. Many species of animals can use these abilities for example during searching for food, sexual partners and also for detection of number of competitors or predators. Numerical abilities such as counting or estimating quantity can increase the chance of survival and reproduction.

In this work, I summarize some previous studies of numerical competences in primates and humans and I also mention experiments in other species. I divide the competences into chapters: estimating of the numbers (relative and absolute), counting, summation, conservation of quantity, proportion, ordinality and transitivity.

The aim of this study was to study the ability of macaques (*Macaca mulatta*) to distinguish between the quantities of two sets. In the following part of experiment I observed the preference of monkeys for size or the number of stimuli. This preference was studied also in children.

The results confirm the ability of relative numerosness judgment of monkeys. The results demonstrate that with increasing difference of quantity between the two sets the ability of distinguish between the two quantities also increase.

Other experiment studied preference of larger number of smaller pieces or smaller number of larger pieces. The results demonstrate that monkeys don't prefer quantity of pieces or size of reward. Children prefer a larger number of pieces.

Key words: numerical competences, relative numerosness judgment, Weber law, preference, primates, rhesus masque, children

Obsah

1.	Úvod.....	7
2	LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	9
2. 1. 1	ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE.....	9
	„Hlavní systémy“	12
2. 1. 2	NEURONÁLNÍ SUBSTRÁT NUMERICKÝCH KOMPETENCÍ.....	14
2. 2	NUMERICKÉ KOMPETENCE	16
2. 2. 1	RELATIVNÍ POČETNOST	16
2. 2. 2	ABSOLUTNÍ POČETNOST	24
2. 2. 3	PRAVÉ POČÍTÁNÍ.....	28
2. 2. 4	SUMACE.....	33
2. 2. 5	ZACHOVÁNÍ MNOŽSTVÍ	41
2. 2. 6	PROPORCIONALITA	46
2. 2. 7	ORDINALITA A TRANSITIVITA.....	47
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	51
3. 1. 1	Cíle práce	51
3. 1. 2	RELATIVNÍ POČETNOST (EXPERIMENT 1).....	52
3. 1. 2. 1	METODIKA	52
3. 1. 2. 2	VÝSLEDKY (EXPERIMENT 1)	58
3. 1. 2. 3	DISKUZE (EXPERIMENT 1).....	66
3. 1. 3	PREFERENCE VELIKOSTI vs. MNOŽSTVÍ.....	72
3. 1. 3. 1	OPICE (EXPERIMENT 2a)	72
3. 1. 3. 1. 1	METODIKA	72
3. 1. 3. 1. 2	VÝSLEDKY (EXPERIMENT 2a).....	77
3. 1. 3. 2	DĚTI (EXPERIMENT 2b).....	88
3. 1. 3. 2. 1	METODIKA	88
3. 1. 3. 2. 2	VÝSLEDKY (EXPERIMENT 2b)	91
3. 1. 3. 2. 3	DISKUZE (EXPERIMENT 2a, 2b)	96
4.	Závěr	101
5.	Použitá literatura	102

1. Úvod

Numerické kompetence zahrnují řadu dílčích kognitivních schopností jako je určení nebo odhad množství a schopnost porovnat, případně manipulovat s množstvím prvků. Živočichové ve volné přírodě často využívají tyto schopnosti například během hledání potravy i při sociálních interakcích, při vyhledávání partnerů, se kterými se mohou spářit a také při zjišťování počtu jiných konkurentů nebo predátorů (Carazo, Font, Forteza-Behrendt & Desfilis, 2009; Benson-Amram, Heinen a kol., 2011).

Schopnost počítat různé objekty či rozhodovat ohledně množství mezi odlišnými kvantitami může zvyšovat šanci na přežití a reprodukci. Zvířata se shlukují do skupin nejen pro získání většího množství potravy, ale často také z důvodu obrany před možnými nepřáteli, jakými mohou být i členové jiné smečky stejného druhu, kdy podle jejich počtu přizpůsobí své chování (McComb, Packer & Pusey, 1994).

Jednodušší numerické kompetence jsou dobře prostudovány u dětí. Menší děti v preverbálním stádiu umí rozlišit menší a větší množství (Xu & Spelke, 2000; Brannon, 2002), stejně jako mnoho jiných živočichů jako například primáti, ptáci, obojživelníci, atd. (Schmitt & Fischer, 2011; Ujfalussy a kol., 2014; Uller, Jaeger, Guidry a kol., 2003).

Člověk a některá další zvířata disponují dvěma hlavními systémy numerické reprezentace: prvním je přesné rozlišení objektů, které je omezené v rozsahu do tří až čtyř položek. Druhým systémem je přibližná reprezentace, která rozlišuje jakýkoliv počet položek, je však limitována poměrem dvou srovnávaných množství, kdy je větší rozdíl těchto dvou kvantit lépe rozlišitelný než rozdíl menší (Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004).

V této práci chci shrnout některé dosavadní studie o numerických kompetencích primátů a člověka a také bych se ráda ve zkratce zmínila o experimentech prováděných u jiných druhů. Tyto schopnosti jsem rozčlenila do kategorií: reprezentace množství, transformace a operace s množstvím a nutné předpoklady pro počítání. Dále jsem jednotlivé numerické kompetence rozdělila do kapitol: odhadování početnosti (relativní a absolutní), počítání, sumace, zachování kvantit, proporce a ordinalita a transitivita.

Dále se budu zabývat výsledky svých experimentů s opicemi a dětmi. Nejprve jsem zjišťovala schopnost opic rozlišovat relativní početnost a následně jsem pokračovala v experimentech pro zjištění jejich preference velikosti nebo množství. Tuto preferenci jsem studovala i u dětí.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1.1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE

Numerická kompetence je jednou z mnoha kognitivních schopností zvířat, která se těší velkému zájmu nejen vědců, ale i v populární literatuře. Řada dokladů ukazuje na zájem o tuto mimořádnou schopnost u zvířat, již od dob počítání legendárního koně „Chytrého Hanse“ (Sebeok & Rosenthal, 1981), až k moderním experimentálním studiím dnešní doby.

Mnoho živočichů používá „primitivnější“ kvantitativní schopnosti, jako je např. odhadování hodnoty objektů, jejich vzdálenost, délka, trvání, číslo nebo jas (Davise & Pérusse, 1988).

Studie Davise a Pérusse z roku 1988 řadí mezi hlavní kvantitativní dovednosti:

1. posuzování relativní početnosti, kdy lze rozlišit pouze menší nebo naopak větší počet, ne konkrétní počet položek („relative numerosness judgments”)
2. přesné zjištění konkrétního počtu objektů neboli „subitizing“
3. nepřesný odhad množství („estimation“)

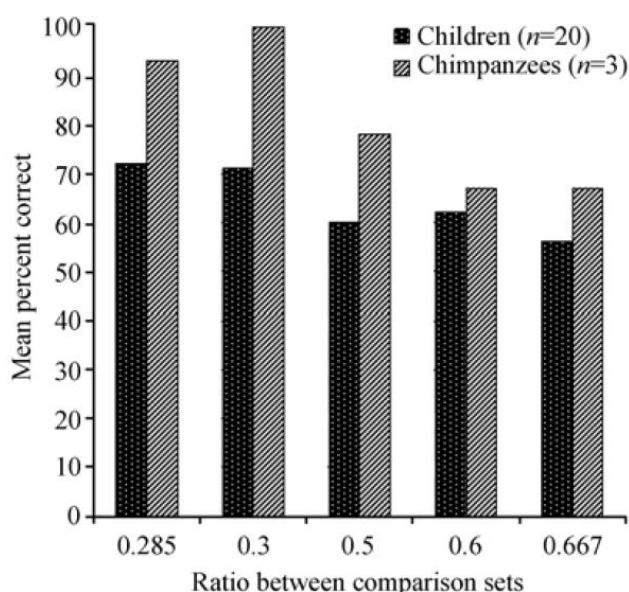
Mezi základní procesy, které zvířatům umožňují provádět numerickou diskriminaci, patří posouzení relativní početnosti, subitizing a počítání. Ordinalita, kardinalita a tranzitivita jsou dalšími kognitivními schopnostmi, které vyžadují rozlišování počtu (Davise & Pérusse, 1988).

Během procesu pravého počítání v užším slova smyslu („counting“) musí být dodrženo několik zákonitostí (Gallistel & Gelman, 1992):

1. musíme přiřadit jednu konkrétní reprezentaci k jedné konkrétní položce
2. musíme řadit označené položky v jednom ustáleném pořadí od nejmenší po největší nebo i naopak, což označujeme pojmem „ordinalita“
3. posledním elementem v setu určujeme souhrnný počet položek, toto označení nazýváme konceptem „kardinality“
4. můžeme počítat jakékoliv živé i neživé objekty v setu - „princip abstrakce“

5. nezáleží na tom, který objekt označíme jako první nebo jak jsou objekty prostorově rozmístěné

Webrův zákon uvádí předpoklad, že lze spolehlivěji diskriminovat větší rozdíl, tedy menší poměr mezi sadami objektů, nežli poměr větší (obrázek č. 1). Umožňuje tedy přesný výběr mezi objekty s větším rozdílem v množství prvků a projevuje tedy skalární variabilitu (Moyer & Landauer, 1967). Tento zákon se uplatňuje v kvantitativní diskriminaci u různých živočišných druhů.¹



Obrázek č. 1: V pokusech Berana a jeho týmu bylo prokázáno, že šimpanzi i děti jsou úspěšní v kvantitativní diskriminaci a s větší přesností volí větší množství při menším poměru (Beran, Johnson-Pynn & Ready, 2011).

Numerické schopnosti dělím do několika skupin. První skupinou jsou schopnosti umožňující rozlišovat a reprezentovat množství. Druhou skupinou jsou kompetence, které transformují a operují s množstvím (jednoduché matematické operace). Poslední skupinou jsou obecné kognitivní schopnosti, které jsou nezbytné pro samotné počítání.

¹ Ve své práci se často zmiňuji o poměrech mezi dvěma počty, někdy je v textu tento poměr vyjádřen také jako zlomek, kdy je v čitateli menší číslo a ve jmenovateli větší číslo.

1. reprezentace množství

- 1. a relativní početnost („relative numerousness judgments“)
- 1. b absolutní početnost („absolute numerousness judgement“)
- 1. c pravé počítání („counting“)

2. transformace a operace s množstvím

- 2. a sumace („summation“)
- 2. b zachování kvantity („conservation of quantity“)
- 2. c rozpoznání stejných proporcí („proportionality“)

3. předpoklady pro počítání

- 3. a ordinalita („ordinality“)
- 3. b transitivity („transitivity“)

Během posouzení *relativní početnosti* vybíráme větší nebo naopak menší počet prvků (Hauser a kol., 2000). Při volbě *absolutní početnosti* je zvíře trénováno pro výběr předem stanoveného konkrétního počtu prvků (Hicks, 1956). Schopnost *pravého počítání* spočívá v reprezentaci a vyčíslení absolutního počtu elementů v sadě (Gallistel & Gelman, 1992).

Ke schopnosti určit množství se vážou i schopnosti operovat s množstvím, jako je například *sumace*: jednoduché matematické úkony sčítání a odčítání prvků a čísel (Hauser, MacNeilage & Ware, 1996). Zařadili bychom sem i *zachování kvantity*, kdy jedinec porovnává různé řady s odlišnými rozestupy daných prvků (Sophian, 1995) nebo množství tekutin v rozdílných nádobách, lišící se výškou vodního sloupce (Call & Rochat, 1996). Poslední numerickou kompetencí je *chápaní stejných proporcí*, tedy schopnost rozpoznat a přiřadit k sobě stejně velké části nebo kusy (Woodruff & Premack, 1981).

Jednou z dalších kategorií a zároveň obtížnější schopností je *ordinalita*, při jejímž testování je úkolem seřadit jednotlivé prvky (čísla i písmena) tak, jak jdou v řadě za sebou

(Boysen, Berntson, Shreyer & Quigley, 1993). *Transitivita* umožňuje pochopit vztah mezi prvky, kdy určitý počet prvků koresponduje s daným číslem nebo symbolem (Smirnova, Lazareva & Zorina, 2003).

„Hlavní systémy“

Člověk a řada dalších živočichů sdílí dva hlavní systémy („coresystems“) numerické reprezentace (Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004).

Přibližná reprezentace

Tohoto systému živočich využívá v případě většího množství objektů a je ovlivněn velikostí poměru mezi dvěma sadami objektů. Čím vyšší číslo vyjadřuje poměr (pokud je menší číslo v čitateli), tím menší je rozdíl mezi oběma sadami a reprezentace množství je méně přesná. Pro dvě sady o počtu objektů 1 a 5 je jejich vzájemný poměr 0,2. Vzájemný poměr sad o počtu objektů 4 a 5 se rovná 0,8. Rozlišit množství prvků ve druhé sadě bude tedy obtížnější.

Již u kojenců se projevují určité numerické schopnosti. Xu a Spelke testovali šestiměsíční děti ve schopnosti rozlišit 8 a 16 teček, rozdílné velikosti a různého rozmístění. Během šesti pokusů si kojenci pouze zvykali, ale poté jim byly předloženy nové série, které sice děti sledovaly delší dobu, ale byly opět úspěšné v jejich rozlišení (Xu & Spelke, 2000).

Další experimenty ukázaly důležité hranice pro numerické kompetence kojenců. Zprv, numerické rozlišování je nepřesné a závislé na poměru. Šestiměsíční kojenci úspěšně rozlišují poměr 8 vs. 16 a 16 vs. 32, ale vyšší poměr (menší rozdíl) 8 vs. 12 nebo 16 vs. 24 rozlišit nedokážou. Zadruhé, přesnost rozlišení roste s věkem. Zatímco šestiměsíční děti rozliší poměr 1:2, ale poměr 2:3 už rozlišit neumí, desetiměsíční kojenci zvládnou rozlišit i 2:3, dospělí dokonce i poměr 7:8. Zatřetí, děti jsou neúspěšné v případě malého množství teček jako je 1:2, 2:4 či 2:3, přestože stejný poměr zvládají u většího počtu teček (Xu, 2003).

Příkladem ze živočišné říše může být úzkonosý primát makak rhesus (*Macaca mulatta*). Makakové byli trénováni na rozlišování počtu 1 až 4 ve vzestupném pořadí. Později

následovalo testování na rozlišení 5 až 9, ve kterém byli taktéž úspěšní, přesnost ale závisela na poměru mezi položkami (Brannon & Terrace, 1998).

Precizní reprezentace

Tento druhý systém zajišťuje rozlišování menšího množství objektů. V této reprezentaci úspěch nezávisí na poměru mezi sadami, ale na absolutním počtu položek. Nejpresnější reprezentace je do tří položek.

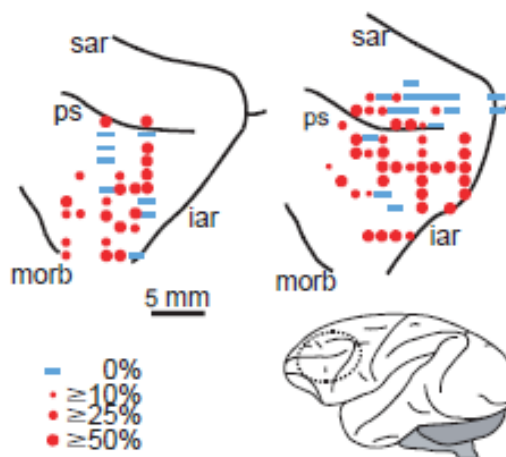
V pokusech Feigensona a jeho týmu experimentátoři testovali desetiměsíční a dvanáctiměsíční kojence, kteří si vybírali mezi dvěma množstvím sušenek. Děti sledovaly, jak experimentátor schovává do jedné nádoby 1 sušenku a do druhé nádoby vložil postupně za sebou dvě sušenky. Obě věkové kategorie vybraly větší počet v případech 1 vs. 2 a 2 vs. 3. Ovšem náhodně vybíraly 3 kusy vs. 4, 2 kusy vs. 4, 3 kusy vs. 6 a 1 kus vs. 4 (Feigenson, Carey & Hauser, 2002).

Makakové prošli podobnými experimenty jako děti, ale experimentátoři nahradili sušenky kousky jablek. Větší počet opice vybíraly v poměrech 1 kus vs. 2, 2 kusy vs. 3 a 3 kusy vs. 4. Náhodně vybírali 3 kusy vs. 8 kusů a 4 kusy vs. 8 kusů. Makakové tudíž mají vyšší limit pro počet prvků, které dokáží reprezentovat (4 položky), než kojenci (Hauser a kol., 2000).

2. 1. 2 NEURONÁLNÍ SUBSTRÁT NUMERICKÝCH KOMPETENCÍ

Sociální zvířata, jako jsou primáti, se musí v některých situacích rozhodnout, zda v případě početní převahy nepřátel budou bojovat nebo uprchnou a v této situaci se uplatňují numerické kompetence (McComb, Packer & Pusey, 1994). V hledání potravy a výběru početnější alternativy pak mohou tyto numerické schopnosti vést k přežití jedince nebo celé tlupy (Hauser, Carey & Hauser, 2000). Určení množství prvků můžeme chápat jako abstraktní formu kategorizace. Diskriminace dvou množství se zdokonaluje s rostoucím rozdílem mezi dvěma kvantitami; dvě kvantitativní s menším rozdílem jsou tedy obtížně rozlišitelné a tato obtížnost ještě roste při zvyšování množství.

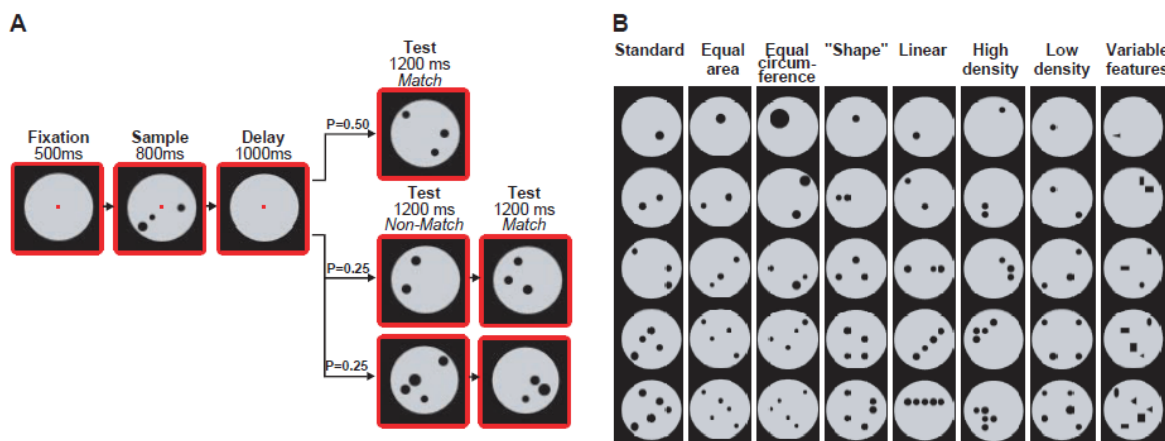
Numerické kompetence závisí na získání informace ze sensorického vstupu, jejich zpracování a také na udržení v paměti. Schopnost zpracovat abstraktní informace závisí na aktivaci neuronů prefrontální kůry (PFC), jejichž role byla prokázána i ve vizuální reprezentaci množství (obrázek č. 2). Mnoho neuronů v laterální části prefrontální kůry je aktivních při posuzování množství, bez ohledu na přesný vzhled stimulů (Nieder, Freedman & Miller, 2002).



Obrázek č. 2: Umístění aktivních neuronů PFC. Velikost značky vypovídá o míře aktivity neuronů (Nieder, Freedman & Miller, 2002).

V experimentu, kdy vědci zkoumali roli PFC při posuzování množství, použili metodiku, při které sledovali 352 náhodně zvolených neuronů PFC. Testované opice měly

posoudit, zda dvě po sobě následující ukázky obsahují stejný počet položek. Na monitoru se mohlo objevit až 5 bodů, které měnily svou velikost a byly na obrazovce náhodně umístěny na 24 místech (obrázek č. 3). Opice sledovaly stimul a po 1s prodlevy se objevil stejný nebo jiný počet teček. Pokud opice na monitoru rozpoznaly stejný počet bodů, zmáčkly páčku. Při vyšším množství bodů nastal pokles v úspěšnosti stejně jako během jiných operantních experimentů zaměřených na numerické kompetence (Nieder, Freedman & Miller, 2002).



Obrázek č. 3: A) prezentace stimulu - prodleva 1s - test, kdy opice rozlišovaly, zda je počet bodů stejný jako při první prezentaci B) příklady stimulů (Nieder, Freedman & Miller, 2002).

Během těchto experimentů bylo při posuzování množství aktivních 131 neuronů z 352. Po zpoždění 1s, kdy měly opice volit, zda je počet bodů na monitoru stejný nebo odlišný, bylo zapojeno 111 neuronů z 352. 77 neuronů bylo zapojeno během prezentace bodů na monitoru i po prodlevě a při zmáčknutí páčky. Pouze 7% z těchto pozorovaných neuronů se vyskytovalo v parietálním inferiorním gyru (IPL) a bylo činných při rozlišování množství podnětů. Protože při změně velikosti bodů došlo jen k malé změně v aktivitě neuronů, můžeme předpokládat, že pro aktivaci těchto neuronů je dominantní množství, ne velikost stimulů. Stejně prezentované množství vyvolalo podobnou aktivitu, ale se zvýšením celkového počtu stimulů se neuronální aktivita snižovala (Nieder, Freedman & Miller, 2002).

2.2 NUMERICKÉ KOMPETENCE

2.2.1 RELATIVNÍ POČETNOST

Během posouzení relativní početnosti, která patří k nejsnadnějším numerickým kompetencím, rozlišujeme a následně volíme větší nebo naopak menší počet objektů (Hauser, Carey & Hauser, 2000).

OPICE (*Simiiformes*)

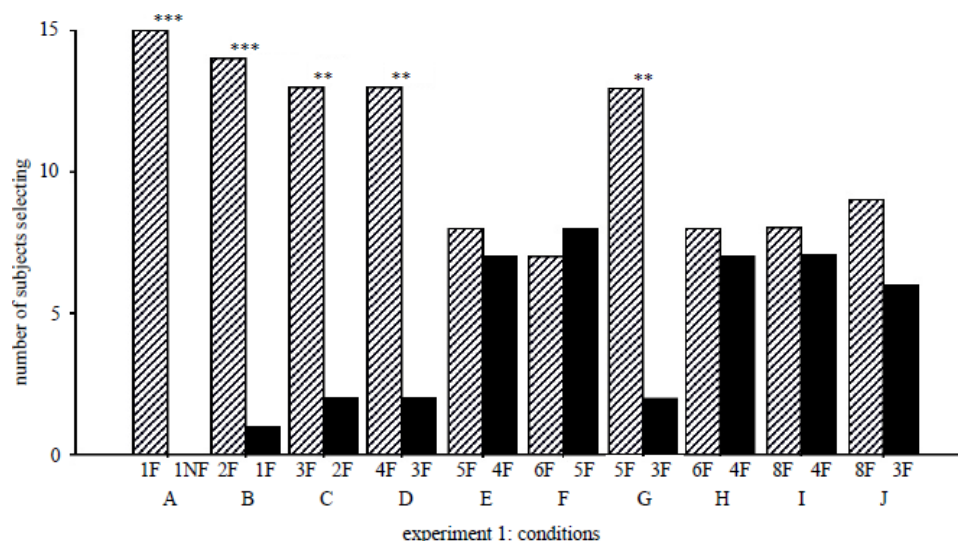
Kotul veverovitý (*Saimiri sciureus*)

V experimentech s ploskonosými opicemi, které provedl Thomase a kolegové (1980) měli dva samci kotulů (*Saimiri sciureus*) vybírat menší počet ze dvou setů, za tuto volbu byli následně odměněni. Byli trénováni na stimuly, kterými byly černé tečky tří velikostí na bílém pozadí s poměry 2:3 až 7; 3:4 až 7; 4:5 až 7; 5:6 až 7; 6:7; 7:8, 8:9. Kotulové byli ve všech poměrech úspěšní v průměru kolem 90%. Jeden z kotulů dokázal rozlišit menší množství i v poměru 8:9 (Thomas a kol., 1980).

Makak rhesus (*Macaca mulatta*)

Hauser a Carey prováděli pokusy s makaky (*Macaca mulatta*). Tyto pokusy nevyžadovaly žádný předchozí trénink, protože vědci chtěli dokázat, zda jsou tyto opice schopny spontánní reprezentace čísel. Během experimentu byly použity kousky jablek nebo kameny, které experimentátoři vkládali v různých poměrech do hrníčků. Aby byla zajištěna spontánnost volby, opice byly testovány pouze jednou. Makaci v prvním experimentu vybrali spíše jablko než kámen. Byli úspěšní také při předložení dvou sad kousků jablek v poměrech 1:2; 3:2; 4:3; 5:3, v ostatních poměrech byli neúspěšní i v případech, kdy se jednalo o poměr dvojnásobný - 8:4 (obrázek č. 4). V další části experimentu byl v hrníčcích stejný počet objektů, ale v jednom z nich byl kousek jablka nahrazen kamenem. Opice volily nádobu s více kousky jablek, ale při výběru 5 kousků (jablek nebo jablek s kamenem) volily nádobu

s kamenem. Podle této studie tedy makaci ovládají spontánní reprezentaci čísel do počtu 4 objektů, s větším počtem položek je jejich volba nepředvídatelná (Hauser, Carey & Hauser, 2000).



Obrázek č. 4: Prezentované poměry v prvním experimentu, "F" („food“ = kousky jablek), "NF" („non-food“ = kámen). Opice úspěšně volily větší množství v poměrech A-D a G (Hauser, Carey & Hauser, 2000).

Wood a jeho kolegové o několik let později navázali na předchozí experimenty s makaky, při nových experimentech přesouvali kolečka mrkve z průhledné nádoby do hrníčků. První pokus testoval makaky v poměru 1 hrníček plný mrkve vs. 2 plné hrníčky. Opice správně volily větší počet hrníčků s mrkví. Ve druhém pokusu vědci přidali poměry 2:3; 3:4; 4:5; 3:6. Výsledky ukázaly, že i v tomto experimentu opice rozeznají poměr množství do 4 položek. Třetí pokus byl rozdělen do několika fází. V první fázi byl makakům opět předložen poměr 1:2, ale první hrníček byl naplněn celý, zatímco druhé dva hrníčky jen z půlky. Opice se orientovaly na základě počtu nádob a vybraly dva hrníčky, byť byly obě varianty rovnocenné. V další fázi byl testován poměr 1 hrníček vs. hrníček naplněný do 1/3. Makaci zvolili 1 hrníček, takže se rozhodují i na základě množství mrkve v hrníčku. Další fáze představovala 2 hrníčky mrkve a 2 hrníčky, kdy jeden z nich byl plný mrkve a druhý plný písku. Opice volily 2 hrníčky s mrkví (Wood a kol., 2008).

V experimentech publikovaných ve studii z roku 1990 byli testováni tři jedinci druhu makak rhesus (*Macaca mulatta*) a jeden samec makaka asámského (*Macaca assamensis*).

Byly jim prezentovány bílé kartičky s tečkami v počtu od 2 do 6. Během prvního tréninku s poměrem 3:5 byl odměňován výběr většího počtu teček. Ve druhém tréninku byly prezentovány kartičky se 2, 4 nebo 6 tečkami a dále páry složené ze všech čísel 2 – 6. Další trénink byl odlišný - makaci měli rozlišit stejný počet tří teček na obou stranách a v tomto případě zvolit kartičku na pravé straně. Pokud byl počet teček na obou kartičkách jiný, opice měly zvolit levou kartičku. První tři experimenty vyžadovaly schopnost rozlišit relativní početnost, následující experiment byl založen na rozpoznání stejného či odlišného počtu. Tři makaci dosáhli úspěšnosti 80% - tedy signifikantně vyšší úspěšnosti než je náhodná volba (Lin a kol., 1990).

Pavián anubi (*Papio anubis*)

Paviáni (*Papio anubis*) byli společně s makaky jávskými (*Macaca fascicularis*) testováni v rozeznávání dvou řad složených z jedlých (hrozinky, arašídy) a nejedlých (kamínky) objektů v náhodném počtu od 1 do 8. V pokusech s nejedlými stimuly dostali paviáni při výběru početnější řady potravy stejného množství, jaké bylo ve zvolené řadě. Opice volily větší množství jedlých objektů s úspěšností 69%. Při výběru mezi dvěma řadami kamínků volily početnější řadu v 84% případů. Ve třetím pokusu byla pod podložky s testovaným počtem jedlých objektů schována odměna ve formě jiné potravy. Výsledky byly obdobné jako v předchozím pokusu, paviáni volili početnější množství v 86%. Celá studie ukázala, že se paviáni dokážou řídit mentální reprezentací stimulu bez ohledu na jeho kvalitu (Schmitt & Fischer, 2011).

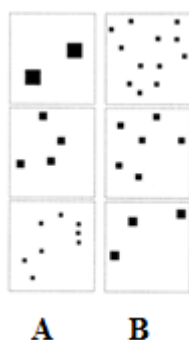
Šimpanz učenlivý (*Pan troglodytes*)

Beran a Evans (2008) testovali čtyři samce šimpanze (*Pan troglodytes*), zda po předložení dvou sad celozrnných sušenek složených z různých velikostí (1, ½, ¼ a 1/8) budou volit větší množství potravy. V experimentu bylo manipulováno s množstvím předkládaných kusů, jejich velikostí a plochou. Větší množství tak mohlo být prezentováno ve formě jednoho velkého kusu nebo ve větším počtu malých kousků. Šimpanzi ve všech opakováních vybírali větší množství jídla, takže se při výběru orientují primárně množstvím. Počet kusů nebo plocha zabíraná sušenkami byla během výběru až na dalším místě. Ve druhém pokusu byla jedna sada sušenek postavena na sebe, takže větší výška mohla působit jako falešné vodítko.

Šimpanzům zde byly tedy prezentovány dvě sady, jedna poskládaná do výšky a druhá původní. Přesto opice opět spolehlivě vybíraly větší celkové množství. Třetí experiment byl modifikován a sušenky byly vkládány do hrníčků. Experimentátor nejprve ukazoval jednotlivé sušenky, které vkládal do nádoby a pak je ukázal jako celek a poté přešel k druhé sadě, kterou prezentoval obdobně. Šimpanzi opět preferovali větší množství sušenek. Výsledky tedy ukazují, že šimpanzi byli schopni utvořit reprezentaci množství a uložit ji v paměti (Beran, Evans & Harris, 2008).

ČLOVĚK

Brannon (2002) ve svých výzkumech zjistil, že schopnost rozlišit relativní početnost se u lidí vyvíjí mezi 9. a 11. měsícem života. Právě takto staré kojence testoval v experimentech, kdy měli rozlišovat menší a větší množství. Některé děti byly učeny určit vzrůstající množství položek (4 – 8 – 16) a některé děti měly dokázat určit sestupné množství (16 – 8 – 4). Všechny děti dohromady byly poté testovány na obě lineární řady (obrázek č. 5). Devítiměsíční kojenci nedokázali rozlišit větší množství, zatímco jedenáctiměsíční děti už tuto schopnost měly. Vědci se domnívají, že nesprávnou volbu mladších dětí mohl zapříčinit krátký čas (1s), ve kterém byly řady prezentovány. Xu a Spelke totiž ve studii o dva roky dříve prokázali, že půlroční kojenec dokáže rozlišit 8 teček od dvojnásobného počtu 16 teček v experimentech, kdy se tečky lišily jak svou velikostí, tak také rozmístěním na stimulu (Xu & Spelke, 2000).



Obrázek č. 5: Děti jsou učeny určit vzestupný počet položek v setu (A) a poté testovány při nově prezentovaných poměrech (B) (Brannon, 2002).

OSTATNÍ ZVÍŘATA

Samci brouka potěmníka moučného (*Tenebrio molitor*) byli testováni při rozlišování jednotlivých setů filtračních papírů s oděry různých počtů samic. Poměry byly 1:4; 1:3; 2:4 a 2:1. Samci preferovali papírky nesoucí oděry více samic v případě poměrů 1:4 a 1:3, poměry 2:4 a 1:2 však nebyli schopni odlišit. Samcitedy rozeznají oděry více samicjen v případech menšího poměru než 1:2, kdy je rozdíl mezi sadami dostatečně výrazný (Carazo, Font, Forteza-Behrendt & Desfilis, 2009).

Kachnička karolínská (*Aix sponsa*) je hnízdním parazitem, část samic snáší svoje vajíčka do hnízd samic stejného druhu. Velikost vajíček a jejich počet v hostitelské snůšce je často ukazatelem, zda hostitelská samice bude snášet další vajíčka (méně jak 15) nebo už probíhá jejich inkubace (více jak 15) a v takovém případě by již nedošlo k dostatečně dlouhé inkubaci vajec parazitické samice. Parazitické kachničky snášely svá vajíčka preferenčně do hnízda, kde bylo vajíček méně. V experimentu jim byla předložena hnízda s 5, 10, 15 a 20 vajíčky. Kachničky ve většině případů zvolily, a poté také snesly, větší počet vajíček do hnízd s 5 nebo 10 hostitelskými vajíčky (Odell & Eadie, 2010).

Ujfalussy a jeho spolupracovníci chtěli zjistit, zda budou kavky (*Corvus monedula*) ovládat kompetenci relativní početnosti. V experimentu dostaly kavky dvě sady potravních stimulů od 1 do 5. Kavky vždy vybíraly větší set s více granulemi, i přesto, že experimentátoři doplnili kratší řadu příslušným počtem kamínků, aby čas předkládání byl u obou sad stejný. S menším poměrem mezi počtem v jednotlivých sadách úspěšnost kavek stoupala. Při předložení 1 velké granule a 3 malých granulí, kdy byl objem vyrovnaný, kavky vybíraly počet granulí náhodile, takže nepreferovaly samotný počet (Ujfalussy a kol., 2014).

Lvi pustinní (*Panthera leo*) umí rozeznat velikost jiné smečky podle jejich vokalizace. Počet jedinců v jiné smečce tak může ovlivnit chování recipientů, kteří skupinu mohou pronásledovat, pokud se dostala na jejich území. Toto chování ovlivňuje nejen počet jedinců cizí smečky, ale také počet členů skupiny, která bude neznámou smečku pronásledovat. Během playbackových experimentů v národním parku Serengeti vědci zjistili, že skupina spíše pronásleduje jinou smečku, pokud je v ní menší počet členů než tři. Lvice samotná nebo

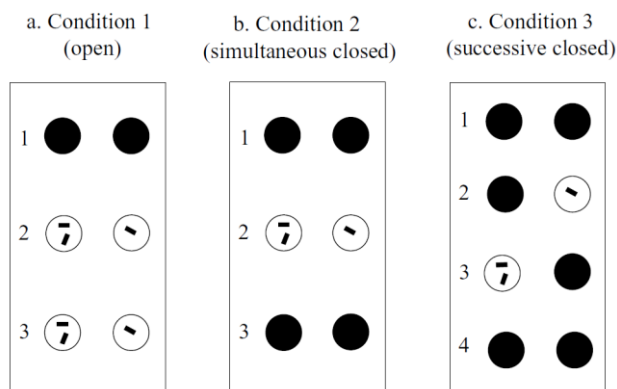
i dvě samice pronásledování vzdaly častěji než smečka tříčlenná nebo početnější (McComb, Packer & Pusey, 1994).

Hyeny skvrnité (*Crocota crocuta*), stejně jako lvi, dokáží rozpoznat počet jedinců jiné smečky podle jejich vokalizace. V experimentu bylo jednomu z klanů přehráno volání 1–3 jedinců jiné smečky. Samice zvýší svou pozornost, když detekují vokalizaci více jedinců, hrozí zde totiž riziko, že by je tito cizí jedinci mohli pronásledovat (Benson-Amram, Heinen a kol., 2011).

Vlkům (*Canis lupus*) byly ve fázi tréninku předkládány objekty v poměru 1:4 a jedinci měli vybrat vždy větší množství objektů. V experimentu byly zařazeny i další poměry 1:2 až 4, 2:3 až 4. Téměř všichni jedinci volili větší množství a v experimentu byl patrný efekt Webrova zákona, kdy vlci s větším úspěchem volili menší poměr (tedy větší rozdíl) mezi prezentovanými objekty (Utrata, Virányi & Range, 2012).

Také kojot (*Canis latrans*) dokázal vybrat mezi sadou s menším a větším množstvím potravy a to v různých poměrech (1:2–4; 2:3–5; 3:4–5), přičemž byli opět úspěšnější v případech, kdy se jednalo o poměr nižší než 1:2 (Baker, Shivik & Jordan, 2011).

Pes (*Canis lupus familiaris*) dokáže rovněž rozlišit menší a větší set. V tomto experimentu byli testováni v podobných poměrech množství jako kojoti (Baker, Shivik & Jordan, 2011). Oba sety potravy byly prezentovány zároveň (obrázek č. 6). V další fázi byly sety po předložení zakryty a pes volil větší set až po jeho zakrytí. V poslední třetí a nejobtížnější fázi, byly sety prezentovány postupně a také postupně zakryty. Druhá a třetí fáze tedy vyžadovala v určité míře i zapojení paměti. V jednotlivých fázích pokusu byl vidět opět nejen vliv velikosti poměru, ale také vzestupná obtížnost fází, což výsledky výběru většího setu zřetelně ukazovaly (Ward & Smuts, 2007).



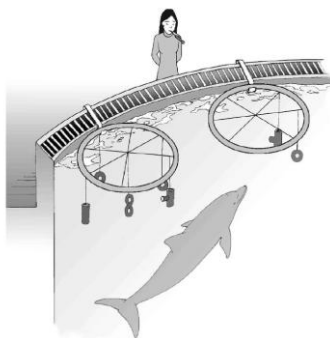
Obrázek č. 6: Schéma experimentu - předložení potravy v určitých počtech. (A) misky jsou předloženy současně, (B) zakryté misky jsou předloženy současně, následně odkryty a poté opět zakryty, (C) zakryté misky jsou prezentovány současně, ale nejprve je odkryt jeden a zakryt zpět a totéž je provedeno s druhým talířem (Ward & Smuts, 2007).

Domácím koním (*Equus caballus*) byly předloženy dvě různé sady jablek v odlišných poměrech (1:2 a 2:3). Při prvním poměru zvolilo větší počet 70% jedinců a při prezentaci poměru 3:2 zvolilo koš s větším množstvím jablek 10 z 16 koní. V poslední fázi bylo prezentováno 1 jablko vs. 2 malá jablka, tudíž obě sady měly stejný objem. Patnáct koní preferovalo dvě jablka, pouze jeden kůň volil nahodile. Při poměru jablek 4:6 již všichni koně vybírali náhodně, takže autoři předpokládají, že koně dokážou pravděpodobně rozlišit početnost setu pouze do 3 položek (Uller & Lewis, 2009).

Dvěma samicím slona afrického (*Loxodonta africana*) byly předloženy dva barely a potrava do nich byla postupně vhazována, experimentátoři také vyrovnávali čas ukládání potravy u obou barelů falešným vhazováním. Testovaným slonům byly předloženy různé poměry s největším počtem položek 5:10. Slonice volily větší množství, ale jejich úspěšnost opět odpovídala Webrově zákonu (Perdue, Talbot, Stone & Beran, 2012).

Delfin skákavý (*Tursiops truncatus*) byl trénován na rozlišení a následný výběr menšího počtu objektů, za což byl odměňován. Nejprve byl testován pomocí čtyř typů různých objektů, kdy mu byly nejprve předloženy stejné objekty v poměru 2:5 a poté i heterogenní sady objektů (obrázek č. 7). Kritériem úspěšnosti bylo 90% správných odpovědí. Další test se skládal z poměru 2:5, ale nové objekty se lišily v hustotě rozmístění nebo byly rozložené do šířky. Poslední částí bylo rozšíření o poměr 3:4. V tomto poměru volil testovaný jedinec úspěšně menší počet objektů v případě větší hustoty jejich rozmístění, a pokud byly objekty podobné těm, které viděl během tréninku. V dalších experimentech byly testovanému

jedinci prezentovány tabule s různými počty a tvary plošných objektů. Experimentátoři použili větší počet objektů i poměrů mezi objekty (1:2; 2:3 až 4; 3:4 až 5, 4:5, 5:6). Delfín úspěšně vybíral menší počet objektů, chyboval pouze v poměru 4:5, což mohlo být způsobeno ztrátou jeho motivace, neboť při poměru 5:6 volil opět správně. Není tak jisté, jaký je skutečný limit jeho schopností reprezentace množství (Kilian, Yaman a kol., 2003).



Obrázek č. 7: Experiment, ve kterém delfín správně vybírá menší počet různých objektů (Kilian, Yaman a kol., 2003).

2. 2. 2 ABSOLUTNÍ POČETNOST

Při určení absolutní početnosti vybírá jedinec konkrétní počet prvků, který srovnává s vnitřní reprezentací, nikoliv s druhou sadou reálných prvků. Pro zjištění numerické kompetence absolutní početnosti, je zvíře cvičeno na výběr předem stanoveného konkrétního počtu prvků (Hicks, 1956).

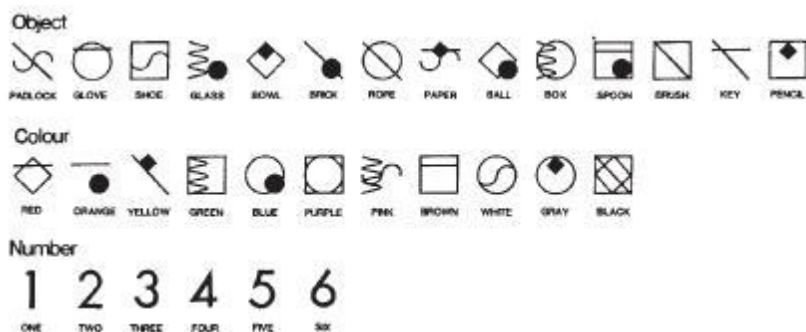
OPICE (*Simiiformes*)

Makak rhesus (*Macaca mulatta*)

Hicks (1956) trénoval opice druhu makak rhesus (*Macaca mulatta*), aby vybraly správnou kartu s konkrétním počtem stimulů ze dvou nebo tří alternativ, které jim byly nabízeny. Každá z karet vyobrazovala jeden až pět geometrických tvarů. Opice dokázaly vybrat určené karty se třemi geometrickými tvary, bez ohledu na barvu stimulů, jejich velikost, prostorové uspořádání i samotný tvar geometrických objektů (Hicks, 1956).

Šimpanz učenlivý (*Pan troglodytes*)

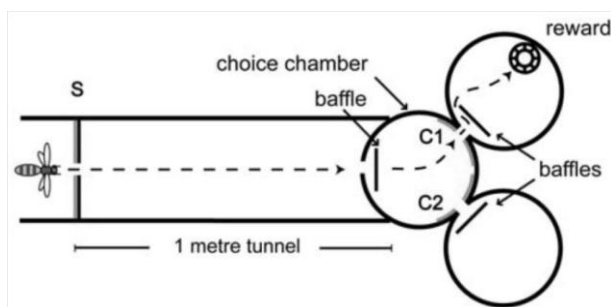
Pětiletá samice šimpanze (*Pan troglodytes*) byla před experimentem, kdy měla určit absolutní počet, trénována k rozlišování arabských číslic, které dokázala přiřadit k počtu prvků na obrazovce. Takto uměla přiřadit čísla od 1 do 6 a překročila úspěšnost 90%. Dokázala pojmenovat 14 objektů a rozpoznala 11 barev (obrázek č. 8). Byla schopna rozpoznat počet a přiřadit jedno z pěti čísel (1, 2, 3, 4, 5), barvu (červená, modrá, žlutá, zelená, černá,...) a samotný předmět (tužka, papír, cihla, lžice, zubní kartáček,...), později dokázala určit až 300 možných variant objektů, které byly prezentovány v řadách s odlišným umístěním a rozestupy. Byla schopna popsat tři atributy vybraného objektu a spontánně tvořila téměř správnou kombinaci (barva - objekt - číslo). Přiřazení počtu objektů pro ni bylo nejobtížnější, určila ho vždy jako poslední a úspěšnost určení byla nižší (Matsuzawa, 1985).



Obrázek č. 8: Symboly zastupující konkrétní objekty, barvy nebo číslce (Matsuzawa, 1985).

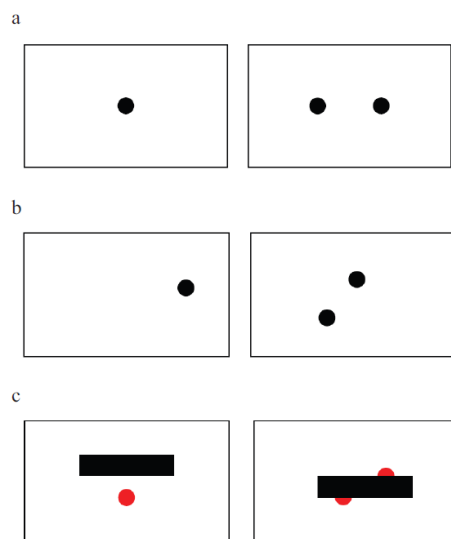
OSTATNÍ ZVÍŘATA

Rozlišit absolutní počet stimulů dokáže i blanokřídý hmyz - včela medonosná (*Apis mellifera*), Tito bezobratlí byli trénováni k rozlišení dvou a tří teček nebo tří a čtyř teček (obrázek č. 9), u kterých byla dále také měněna barva, pozice a později i samotný tvar (Gross, Pahl a kol., 2009).



Obrázek č. 9: Včely byly během testování absolutní početnosti vpuštěny do tunelu, který vedl do prostoru, kde včely měly zvolit pouze jeden počet teček, na který byly trénovány (Gross, Pahl a kol., 2009).

Čerstvě vylíhnutá kuřata (*Gallus gallus*) dokázala rozlišit absolutní početnost malých čísel. Uměla rozlišit jednu velkou tečku od dvou teček a další kuřata byla naučena naopak k volbě dvou teček oproti jedné. Kuřata dále tento úspěšný výběr uměla zopakovat při prezentaci dvou a tří teček, ale při zvýšení počtu na čtyři elementy už množství rozlišit nedokázala. V dalších fázích byly tečky zkombinovány se čtverci v různých pozicích a velikostech se stejným úspěchem. V následujících experimentech se elementy částečně překrývaly (obrázek č. 10). Při vzájemném překrývání z 56% zvířata uspěla, ale pokud vědci zvětšili překrytí teček obdélníkem tak, že je překrýval z větší části, aby byly tečky viditelné z pouhých 16%, kuřata nedokázala tuto úlohu vyřešit (Rugani & Regolin, 2008).



Obrázek č. 10: Stimuly připravené pro trénink a testování kuřat a) trénink rozlišování konkrétního počtu objektů; b) tečky měnily svou pozici; c) černé tečky byly změněny na červené a byly překryty obdélníkem (Rugani & Regolin, 2008).

Holubi (*Columba livia*) byli v experimentech trénováni na výběr 1, 3, 5 nebo 8 stejně velkých teček promítaných na obrazovce. Holubi museli svůj výběr označit postupným klovnutími na tečky, které následně zčervenaly. Při výběru tří teček z osmi museli označit tři tečky celkem třemi klovnutími. Výběr pěti teček se pro holuby ukázal jako nejobtížnější, zatímco výběr krajních hodnot (jedné nebo osmi teček) byl nejúspěšnější (Hirai & Jitsumori, 2009).

Pisa a Agrillo (2009) zkoumali, zda kočka domácí (*Felis silvestris catus*) ovládá schopnost rozlišit absolutní početnost. Dvě kočky byly trénovány, aby rozeznávaly stimuly se dvěma tečkami, zatímco další dvě kočky měly rozeznat stimul se třemi tečkami. Rozmístění stále stejně velkých teček na stimulu bylo náhodné, zatímco při samotném testování se tečky lišily rozmístěním i velikostí. Dvě ze čtyř koček dokázaly rozlišit a určit správné množství teček, ale nejspíše pouze díky jejich prostorovému rozmístění na stimulu (Pisa & Agrillo, 2009).

Také fretky domácí (*Mustela putorius furo*) byly schopné rozeznat absolutní početnost tří prvků mezi dalšími patnácti až dvaceti prvky. V experimentu jim byly předkládány různé velké jedlé kuličky v odlišných množstvích a za správnou odpověď byl považován výběr tří kuliček, které fretky následně mohly sníst (Davis, 1996).

Davis (1984) také testoval tuto kompetenci u mývala severního (*Procyon lotor*), kterého opět učil rozlišit tři jedlé položky - kuličky hroznového vína. Mýval dokázal určit krabičku se třemi kuličkami mezi krabičkami s 1-5 hroznovými kuličkami. Krabičky byly prezentovány současně (Davis, 1984).

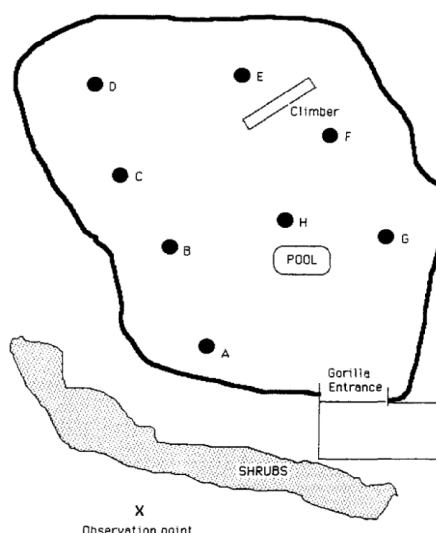
2. 2. 3 PRAVÉ POČÍTÁNÍ

Počítáním rozumíme reprezentaci a vyčíslení absolutního počtu elementů v sadě (Gallistel & Gelman, 1992).

OPICE (*Simiiformes*)

Gorila nížinná (*Gorilla gorilla*)

V pokusech MacDonalda (1994) byli testováni dva jedinci gorily nížinné (*Gorilla gorilla*), dvacetiletý samec a roční sameček. Experiment byl rozdělen na dvě části. Dospělému samci byla v první fázi pokusu v experimentální ohradě umístěna potrava do čtyř beden z osmi. Samec celou manipulaci s potravou sledoval ze svého výběhu a po 24 hodinách byl puštěn do ohrady. Hledal pouze na čtyřech místech z osmi, kde byla potrava skutečně ukryta. Experimentátoři proto předpokládali, že šimpanz ví, že čtvrtý kus potravy je poslední. Ročnímu samečkovi byly schovány kousky potravy do tří krabic ze šesti, které byly v ohradě umístěny (obrázek č. 11). Sameček ukrytí potravy sledoval a po deseti minutách, kdy byl do ohrady vpuštěn, hledal ve všech šesti krabicích, nebyl tedy stejně úspěšný jako dospělý samec (MacDonald, 1994).



Obrázek č. 11: V ohradě bylo 8 míst, kam mohli experimentátoři schovat potravu. V případě dospělé gorily schovali potravu na 4 místa. Roční sameček měl hledat potravu na 3 místech z 6 možných (MacDonald, 1994).

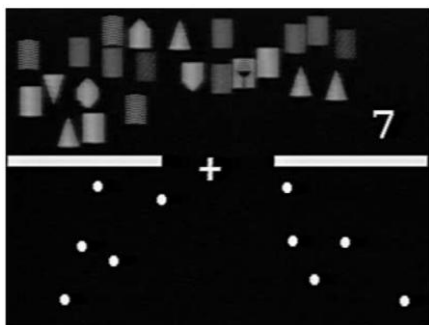
Šimpanz učenlivý (*Pan troglodytes*)

Šimpanz Austin (*Pan troglodytes*) byl testován v experimentu s pomocí dotykového monitoru, což mělo eliminovat možnost nápovědy ze strany experimentátora. V každém experimentu bylo na obrazovce v pravé horní části zobrazeno číslo a v dolní části bylo určité množství teček nebo číslic vždy v jiných konfiguracích. Tečky nebo číslice měl šimpanz dotykem řadit za sebou nebo počítat až do konečného čísla zobrazeného v horní části obrazovky. Odměnou byl preferovaný libý zvuk a potrava, zatímco trestem byl skřípavý zvuk. Během prvních experimentů byly číslice od 1 do 9 náhodně prezentovány na obrazovce a Austin je měl seřadit ve správném pořadí. V dalších experimentech měla každá číslice na obrazovce svou pozici a šimpanz je vybíral do konečného počtu, dle čísla v horní části obrazovky. V některých experimentech měl samec vybírat tolik teček, kolik bylo znázorněno číslicí nahoře.

Výsledky ukázaly, že šimpanz byl úspěšnější při výběru čísel, což můžeme chápat jako symbolickou reprezentaci, než při vlastním počítání teček. V těchto případech nebylo nezbytné mít znalosti o principech, které jsou nutné pro pravé počítání. Austin se ale tyto principy naučil používat, což prokázal, když ke každé tečce přiřadil určitý kód a postupně řadil jednu tečku po druhé. Dokázal použít i princip kardinality, kdy zobrazená číslice v horní části určovala poslední možný výběr.

Šimpanzice Lana byla také testována v podobných pokusech a výsledky obou jedinců byly obdobné. Oba dosáhli při počítání výsledného počtu 3, Austin dokonce 4. Lana na počítání do 5 nebyla testována, Austin sice dosáhl tohoto počtu, ale zemřel po prvním sezení, kde dosáhl 6 správných odpovědí z 11 (Beran, Rumbaugh & Savage-Rumbaugh, 1998).

O několik let později vědci navázali na tyto pokusy opět s Lanou a dalším samcem. V experimentech byl použit monitor s kurzorem, kde byl náhodně prezentován počet teček v dolní části obrazovky a číslice v horní části. Úkolem bylo opět postupně označovat tečky, dokud nebude dosažen počet, který odpovídal číslici nahoře (obrázek č. 12). Při špatné odpovědi byl test přerušen a naopak při správném počtu se tečky přemístily do horní části obrazovky. Experiment začal postupně s číslicemi 1 a 2, pokud bylo v posledních nejméně pěti sezeních dosaženo úspěšnosti alespoň 70 % byla přidána další číslice. Šimpanzi se jen zřídka dopouštěli chyb větších než o jedno číslo. Samec Mercury dokázal spočítat až 7 teček, zatímco Lana pouze 6 (Beran & Rumbaugh, 2001).



Obrázek č. 12: Monitor s kurzorem, kde byl náhodně prezentován počet teček v dolní části obrazovky a číslice v horní části. Úkolem bylo postupně označovat tečky až k dosažení stejného počtu, který představuje číslice (Beran & Rumbaugh, 2001).

ČLOVĚK

Děti předškolního věku 4 a 5 let byly testovány ve schopnosti počítat ve stejných experimentech, jako šimpanzi (*Pan troglodytes*). Děti měly počítat plastové korálky v sadě. Korálky jim byly předkládány k porovnání ve dvou sadách až po 20 kusech. Poměr těchto sad byl 0,2-0,8 (tabulka č. 1).

Sets to be Compared	Ratio between sets	Interval distance	Absolute set size
1 vs. 5	0.20	4	6
1 vs. 4	0.25	3	5
2 vs. 7	0.285	5	9
3 vs. 10	0.30	7	13
1 vs. 3	0.33	2	4
2 vs. 5	0.40	3	7
1 vs. 2 *, 2 vs. 4 *, 4 vs. 8 *, 5 vs. 10	0.50	1, 2, 4, 5	3, 6, 12, 15
3 vs. 5, 6 vs. 10	0.60	2, 4	8, 16
2 vs. 3 *, 4 vs. 6 *, 8 vs. 12	0.667	1, 2, 4	5, 10, 20
3 vs. 4	0.75	1	7
4 vs. 5	0.80	1	9

Tabulka č. 1: Předložené poměry v experimentu (Beran, Johnson-Pynn & Ready, 2011).

Děti měly vybrat sadu s větším množstvím korálků. Úkol jim nebyl explicitně zadán, ale experimentátoři spoléhali na přirozenou dětskou reakci, zvolit si větší počet korálků, která se v tomto experimentu skutečně prokázala. Ve druhé části experimentu se vědci dotazovali na počet korálků v sadě, nebo požadovali přemístění konkrétního počtu korálků do hrníčku.

V experimentech se šimpanzi byly plastové kuličky nahrazeny „marshmallows“, které šimpanzi mohli po své volbě sníst. Opice vybíraly sadu s více pamlsky s větší úspěšností než děti vybírající větší set korálků.

Výběr dětí i opic byl stejně jako v jiných studiích ovlivněn poměrem předkládaných

setů, při volbě mezi sety s větším rozdílem byly opice i děti úspěšnější. Mladší děti správně spočítaly set až šesti korálků, ale bez procesu počítání dokázaly říct, která sada korálků je početnější i při velkých setech. Starší děti byly ve správném určení větší sady i v přemísťování určitého počtu korálků úspěšnější. Tento experiment ukazuje vcelku rychlý vývoj této numerické schopnosti (Beran, Johnson-Pynn & Ready, 2011).

OSTATNÍ ZVÍŘATA

Vědci sledovali chování čmeláků (*Bombus terrestris*) ve volné přírodě, kde čmeláci opilovali proskurník setý (*Alcea setosa*), který má vždy pět nektarií. Ukázalo se, že v 92% případů květina přestala po návštěvě pátého nektaria čmeláky zajímat. Při ekvivalentních pokusech v laboratoři byla na dvou experimentálních místech vždy umístěna tři elektronická krmítka, ale na každém místě mohli čmeláci získat pouze dvě odměny. Po druhé odměně rostla frekvence jejich odletu z tohoto místa (Bar-Shai, Keasar & Shmida, 2011).

Holubům (*Columba livia*) byl během prvního experimentu zadán úkol, kdy měli jednou klovnout do klíče zobrazeného uprostřed obrazovky. Tento pokus měl pokaždé čtyři opakování, z toho vždy poslední klovnutí nebylo odměněno. Proto vědci předpokládali, že se po stálém opakování stejných čtyř trialů, prodlouží doba před posledním klovnutím. Holubi však do klíče klovali čtyřikrát i přesto, že po čtvrtém klovnutí již nebyli odměněni. Vědci zkomplikovali další fázi experimentu, kdy holubi museli do klíče klovnout vždy desetkrát a po desátém klovnutí opět nebyli odměněni. Zde se prodloužila očekávaná latence posledního klovnutí do stimulu. Holubi tedy dokáží rozlišit absolutní počet a v některých případech, kdy musejí vynaložit větší úsilí, demonstrují schopnost počítat (Rayburn-Reeves, Miller & Zentall, 2010).

U papouška Alexe (*Psittacus erithacus*) byla také testována schopnost počítat. Otázkou bylo, zda v tomto případě jde o pravé počítání nebo zda se jedná pouze o rychlý, ale přesný odhad menšího počtu položek (subitizing). To vědci dokázali zjistit náhodným předkládáním stále většího počtu kostek. V případě odhadu množství by měl počet chyb stoupat od 4 prezentovaných položek. Papoušek ale chyboval ve všech případech zcela náhodně, proto můžeme tvrdit, že je schopen pravého počítání.

Alexova reprezentace množství nejspíš nefunguje stejně jako u člověka. Je možné, že

ptáci používají „subitizing“ na různá množství. Jeden z příkladů, které to naznačují, je percepce vokálních frází u ptáků. Počet frází, které se opakují v ptačích voláních, je důležitý pro detekci nebezpečí či agrese a ptáci je dokáží rozlišit i mezi většími počty rychle prezentovaných sluchových stimulů (Pepperberg, 2013).

Capaldi a Miler (1988) prováděli pokusy s potkany (*Rattus norvegicus*) a ověřovali jejich schopnost počítat v podobné úloze jako v experimentech s holuby (Rayburn-Reeves, Miller & Zentall, 2010). V této úloze byla odměna předložena v krabici v určitém počtu po sobě následujících expozic. Poslední předložení krabice bylo vždy bez odměny. Zvířata se učila, že v poslední krabici žádná odměna není a postupně se zvýšila latence při poslední expozici, což nasvědčuje tomu, že potkani dokáží reprezentovat konkrétní počet.

V aréně byla umístěna krabice s ukrytou potravou nebo krabice prázdná v náhodném pořadí. Potkani byli v jednotlivých sériích postupně učeni expozici po sobě následujících 3, 4 nebo 5 krabic. Potkani na začátku série opakování nepředpokládali nález prázdné krabice, ale po několika dnech se na konci každé série během posledního pokusu zvýšila latence hledání krabice, protože potkani dokázali spočítat dosažené odměny a správně předpokládali, že v posledním opakování bude krabice opět prázdná (Capaldi & Miler, 1988).

2. 2. 4 SUMACE

Mezi numerické kompetence patří také jednoduché matematické úkony - sumace, jako je sčítání a odčítání prvků a čísel (Hauser, MacNeilage & Ware, 1996).

POLOOOPICE (*Strepsirrhini*)

Ačkoliv je známo mnoho o početních schopnostech primátů, obzvláště opic a lidoopů, velmi málo víme o numerických schopnostech poloopic.

Ve studii z roku 2005 se vědci zabývali schopností reprezentovat malé množství objektů u čtyř druhů lemurů: lemur bělohavý (*Eulemur fulvus*), lemur mongoz (*Eulemur mongoz*), lemur kata (*Lemur catta*) a vari červený (*Varecia rubra*). Nejprve lemurům předkládali 2 velké citrony v porovnání s 1 velkým citronem, ve druhém experimentu 2 versus 3 citrony. V posledním experimentu lemurům předložili aparaturu a po odstranění zástěn se objevily 2 stejně malé citrony proti 1 velkému citronu. Po předchozím tréninku poloopice správně zvolily dva malé citrony. Výsledky naznačují, že některé poloopice mohou chápat jednoduché aritmetické operace (Santos, Barnes & Mahajan, 2005).

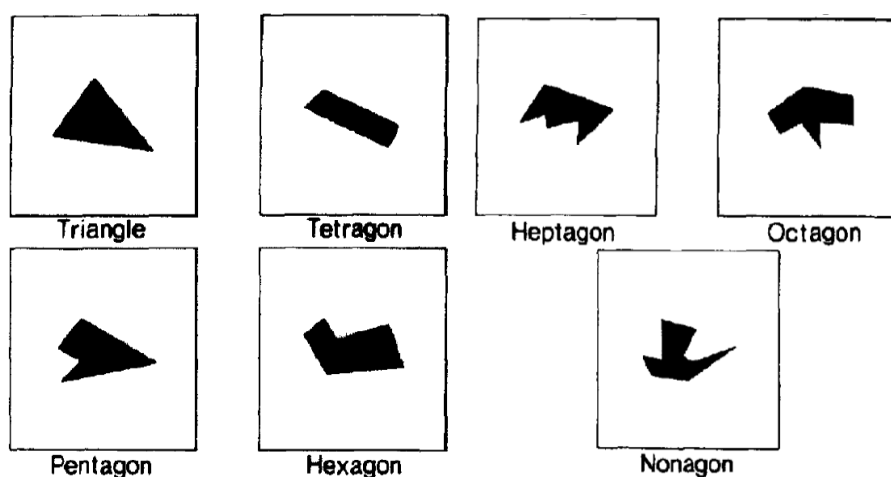
OPICE (*Simiiformes*)

Malpa hnědá (*Cebus apella*)

Malpám (*Cebus apella*) byly prezentovány dvě sady stejně velkých kusů totožné potravy (hrozinky), které se ale lišily v počtu. Poté, co zvířata zvolila jednu sadu, mohla kousky potravy zkonsumovat. Sady byly v rozmezí od 1 do 6 položek. V prvním experimentu byla každá sada na chvíli odkryta a opět zakryta. Opice správně volily větší set, kdy jejich úspěšnost odpovídala Weberovu zákonu. Ve druhém pokusu byly k původní sadě přidány další hrozinky, což vyžadovalo, aby opice sečetla celkové množství objektů. Poté byla sada během jejich volby skryta, což ukazuje i schopnost opic pamatovat si příslušné množství, kterou využily při správném výběru většího setu hrozeček (Beran, Evans a kol., 2008).

Kotul veverovitý (*Saimiri sciureus*) a kotul amazonský (*Saimiri boliviensis*)

V roce 1990 Terrell se svým kolegou testovali kotuly dvou druhů: kotula veverovitého (*Saimiri sciureus sciureus*) a kotula amazonského (*S. boliviensis boliviensis*), kteří měli rozlišit a sečíst počet stran nepravidelných mnohoúhelníků (obrázek č. 13). V první fázi dva jedinci nejlépe rozlišovali heptagony a oktagony. Třetí samec byl nejúspěšnější při rozeznání hexagonu od heptagonu a čtvrtý samec obstál nejlépe v úloze při rozlišení heptagonu a pentagonu. Kotulové byli úspěšní v 36 pokusech ze 40 testovaných. V dalším pokusu, který byl obtížnější, měli sečíst strany dvou mnohoúhelníků v jednom setu a porovnat je s počtem stran dalších dvou nepravidelných mnohoúhelníků druhého setu. Hlavním úkolem bylo určit, který z těchto setů má dohromady menší počet stran. Pouze jedna opice dokázala z 30 opakování správně určit 27 setů s menším počtem stran (6 ku 8 a 7 ku 8). Ostatní opice dokázaly sečíst a rozlišit pouze 6 versus 8 stran (Terrell & Thomas, 1990).



Obrázek č. 13: Předkládané stimuly s mnohoúhelníky (Terrell & Thomas, 1990).

Makak rhesus (*Macaca mulatta*)

Pokusy, které měly zjistit, zda makaci (*Macaca mulatta*) disponují schopností sčítat a odečítat, byly provedeny v roce 1996. Výsledky naznačují, že tyto opice detekují aditivní a subtraktivní změny v počtu. Na nepravděpodobný výsledek sumace zvířata reagovala delším pohledem, vědci tedy předpokládali, že makaci jsou výsledkem překvapení stejně jako děti v obdobných experimentech (Wynn, 1992).

Další experimenty byly provedeny na populaci volně žijících makaků. Jednotlivé testy probíhaly v aparatuře z pěnového jádra rozděleného na dvě části přikryté přepážkou. V

experimentu byl k 1 lilku přidán další lilek nebo naopak ze dvou lilků byl jeden odebrán. Následně byla odstraněna přepážka a byla prezentována výsledná množství. Třetí možností bylo přidání 2 lilků, ale po odstranění přepážky byl vidět pouze 1 lilek, což makak svojí délkou pohledu zhodnotil jako nemožné. Stejně tomu bylo i během operace odčítání $2 - 1$, kdy makaci opět odhalili nepravděpodobnou možnost (Hauser, MacNeilage & Ware, 1996).

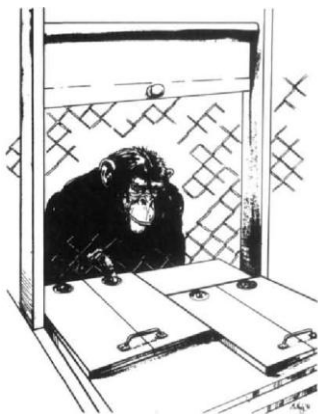
V jedenácti experimentech se Sulkowski a Hauser pokusili dokázat, že makakové umí spontánně odečítat. Testovali makaky v případech, kdy je počáteční množství objektů tři a méně a s využitím různých typů předmětů, jedlých či nejedlých. Chtěli také zjistit, zda makaci chápou koncept nuly. Experimentátor jim vždy na dvě podložky položil 1-3 švestky nebo naopak žádnou švestku, případně stejně velké nejedlé ořechy ze železa, v některých případech objekty i různě zkombinoval. Poté předložené objekty skryl za přepážku a ubral, přidal nebo přesunul jeden objekt z jedné nebo i z obou podložek. Makaci ve výsledku téměř vždy zvolili tu podložku, kde našli větší počet stimulů. V případě vyrovnaného počtu objektů na obou stranách volili náhodně jednu z obou položek, což ukazuje, že mohli chápat, že množství je rozděleno rovnoměrně. V případech, kdy jim byla předložena jedna švestka a na druhé podložce jeden nejedlý oříšek, zvolili objekt, který pro ně představoval zároveň jedlou odměnu (Sulkowski & Hauser, 2001).

Ve studii z roku 2005, chtěli zjistit, zda makaci dokáží bezprostředně počítat objekty ve větším množství. Během tří experimentů předkládali opicím úlohy, kdy měly správně rozlišit výsledek součtů mezi většími čísly, které mezi sebou mají velké poměry: $3 + 1$, $2 + 2$ a $4 + 4 = 4$ nebo 8 . Ve čtvrtém experimentu předložili $2 + 2 = 4$ nebo 6 . V posledním pátém pokusu experimentátoři předkládali v řadě malé, střední nebo velké citróny. Osm malých citrónů se, co se týče hmotnosti, rovnalo šesti středním nebo čtyřem velkým citrónům. V testu prezentovali experimentátoři 3 střední citróny + 1 střední citrón = 4 velké citróny nebo 8 malých citrónů, aby zjistili, zda makakové rozlišují pouze delší řadu nebo celkové množství objektů. Opice určily správný výsledek, zvolily tedy 4 velké citróny, což prokázalo jejich schopnost počítat s většími čísly a zároveň uvažovat o velikosti objektů (Flombaum a kol., 2005).

Šimpanz učenlivý (*Pan troglodytes*)

Šimpanzi (*Pan troglodytes*) si mohli vybrat mezi dvěma tácy s čokoládou, kdy každý obsahoval dvě jamky s určitým počtem čokoládových kousků, vždy od 0 do 4 . Tyto kousky

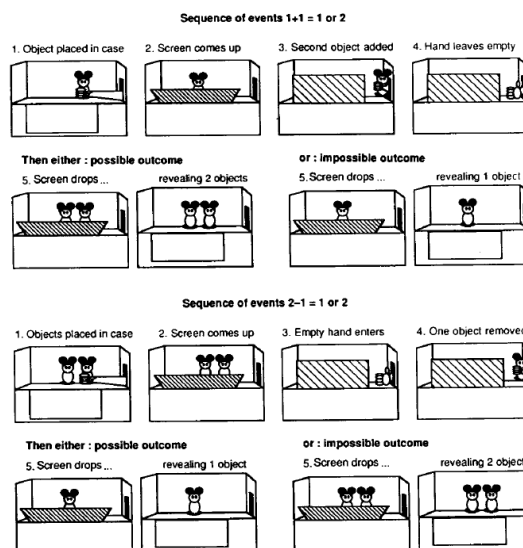
museli šimpanzi sečíst, aby zjistili, na kterém tácu je více kusů čokolády (obrázek č. 14). Správně volili v 90% opakování. V závěrečném pokusu bylo množství kousků zvýšeno na 5, což se ale na úspěšnosti výběru neprojevilo. Experimenty ukázaly, že šimpanzi zvládli sčítání až sedmi kousků i v prostorově oddělených množstvích a bez předchozího tréninku (Rumbaugh, Savage-Rumbaugh & Hegel, 1987).



Obrázek č. 14: Proces sčítání kousků čokolády ve dvou jamkách a následné porovnání mezi dvěma tácy (Rumbaugh, Savage-Rumbaugh & Hegel, 1987).

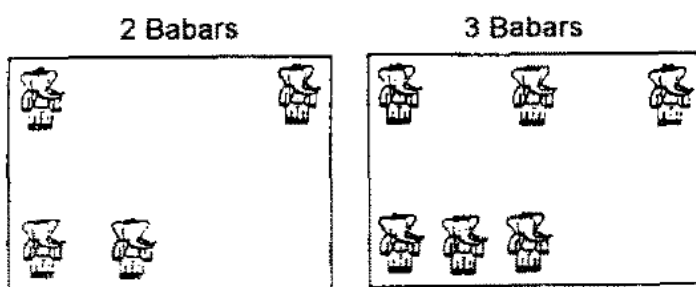
ČLOVĚK

Z výsledků Karen Wynn z roku 1992 víme, že již čtyř až pětiměsíční děti dokáží správně vyřešit jednoduché matematické operace s malými čísly. Stejně jako v pozdějších experimentech s makaky (Hauser, MacNeilage & Ware, 1996), byly dětem předloženy příklady typu $1 + 1$ a $2 - 1$ (obrázek č. 15). Stejně jako makaci sledovali kojenci déle chybný výsledek při nabídnutých možnostech $1 + 1 = 1$, $2 - 1 = 2$ nebo $1 + 1 = 3$. To nám umožňuje tvrdit, že lidé mají v jisté míře vrozené určité aritmetické schopnosti (Wynn, 1992).



Obrázek č. 15: Nejprve je vložena jedna figurka, která je zakryta plentou a poté je za zástěnou vložena druhá figurka. Následně je prezentován správný výsledek (2 figurky) nebo 1 figurka jako špatný výsledek. Na obrázcích níže je představena aritmetická operace odčítání pomocí figurek (Wynn, 1992).

Houdé o pět let později použil stejný model jako Wynn (1992), ale využil i verbální reakci při nesprávném výsledku slovem “špatně“, což poskytovalo zpětnou vazbu a možnost korekce. Testoval také starší děti - batolata ve věku dvou a tří let. Nejprve zopakoval jednoduché numerické operace ($1 + 1$, $2 - 1$), a poté provedl nový pokus, kdy děti porovnávaly dvě řady o dvou nebo i třech objektech, které od sebe byly odlišně vzdáleny. Výsledky ukázaly hierarchii ve vývoji schopnosti sumace a rozlišení počtu objektů v řadě, kdy musí být děti schopny rozlišit počet objektů a zároveň délku řady (obrázek č. 16). V obou případech sumace byly tříleté děti úspěšnější než dvouleté. V experimentech byla pozorovatelná rychlejší správná reakce na součet $1 + 1 = 1$ než v součtu $1 + 1 = 3$. Wynn (1992) tento rozdíl v experimentech s kojenci nepozorovala (Houdé, 1997).



Obrázek č. 16: Úloha, kde děti rozlišují počet postaviček v řadě, a poté volí početnější řadu (Houdé, 1997).

Neverbální aritmetika není tedy výlučná pouze u lidí, ale i opice mohou do určitého počtu sčítat hodnoty dvou sad stimulů přibližně stejným způsobem jako děti.

Čtrnácti dospělým lidem a dvěma opicím druhu makak rhesus (*Macaca mulatta*) byla prezentována stejná úloha. Nejprve jim byla na obrazovce promítnuta sada s určitým počtem teček, poté následovala prázdná obrazovka a po této pauze se objevil jiný set teček. Po těchto dvou demonstracích měl subjekt na obrazovce vybrat jeden ze dvou obdélníků, který obsahoval součet všech teček z přechozích dvou ukázek. Subjektům byly předkládány sady jako například: $1 + 1 = 2$, 4 nebo 8; $2 + 2 = 2$, 4 nebo 8 a $4 + 4 = 2$, 4 nebo 8. Během pěti stovek pokusů byly opice úspěšnější, než by byla hranice náhody.

Ve druhé fázi byla prezentována i větší čísla 12 a 16 a testovány příklady typu: $8 = 1 + 7$, $2 + 6$, $3 + 5$ či $4 + 4$. Jejich úspěšnost při výběru správného výsledku rostla s vyšším rozdílem mezi dvěma stimuly.

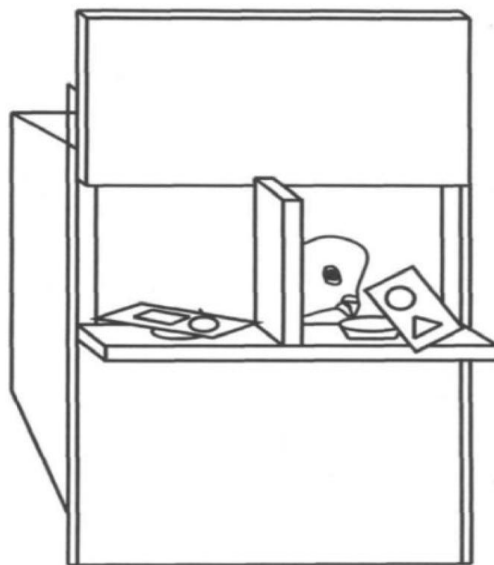
Aby vědci zjistili, jestli jsou opice schopné abstraktních mentálních procesů, přidali nové součty 3, 7, 11 a 17, který byl pro opice nejobtížnější. Úspěšnost byla opět závislá na poměru.

Souhrnné výsledky ukázaly, že člověk byl ve svém výběru správné odpovědi o 18% přesnější než makaci, ale latence odpovědi byla u obou druhů téměř stejná. Rychlost jejich správné odpovědi závisela na velikosti poměru mezi sadami teček (Cantlon & Brannon, 2007).

OSTATNÍ ZVÍŘATA

Schopnost sumace byla testována i u čerstvě vylíhnutých kuřat (*Gallus gallus*). V experimentu byly použity dvě zástěny, za které vědci umísťovali míčky, které byly následně přemísťovány zpoza jedné přepážky za druhou. Kuřata všechna umístění i přemístění míčků sledovala. Experiment probíhal ve dvou fázích. V první fázi byly testovány aritmetické operace, kdy za jednu zástěnu byly umístěny 4 míčky a za druhou 1 míček. Následně byly z první přepážky 2 míčky odebrány a přemístěny za druhou zástěnu. Ve druhé fázi bylo za první zástěnou 5 míčků. Odsud byly 3 míčky přemístěny za přepážku, kde původně nebyl žádný míček. Přestože byly podmínky těžší než v první fázi, už od počátku testování kuřata vybírala 3 míčky. Aby mohla testovaná kuřata zvolit správně, musela provést numerické operace (Rugani, Fontanari a kol, 2009).

Holubi (*Columba livia*) byli schopni naučit se zvolit stimul, za který následně dostali větší množství odměny (obrázek č. 17). Holubi byli trénováni v rozlišení symbolů, které pod sebou ukrývaly různý počet zrněk od 0 do 9. Po tréninku dokázali volit stimul, který ukrýval větší počet zrněk. V další fázi experimentu vědci ověřovali schopnost holubů provádět sumaci. Ptáci dokázali sečíst symboly na základě většího celkového objemu zrněk, které ukrývaly, a získat tak větší množství odměny. Symboly nerozlišovali na základě jejich počtu, pouze podle celkového objemu zrněk ukrytých pod nimi (Olthof & Roberts, 2000).



Obrázek č. 17: Holub rozlišuje mezi dvěma sadami symbolů, pod kterými jsou ukryta zrna, jejichž počet koresponduje s prezentovanými symboly (Olthof & Roberts, 2000).

Papoušek šedý (*Psittacus erithacus*) jménem Alex byl testován ve schopnosti sečíst počet oříšků a jiných odměn v různých kombinacích až do konečného součtu šesti položek. Během součtu dvou položek byla jeho úspěšnost téměř stoprocentní, ale při obtížnějším součtu většího počtu položek byla jeho úspěšnost až o 12 % nižší. V dalších fázích využili experimentátoři i jeho schopnost pojmenovat arabské číslice, které později dokázal rozeznat od 1 do 8. V tomto rozsahu dokázal také jednotlivá čísla sčítat (Pepperberg, 2013).

Vrány šedé (*Corvus cornix*) v laboratoři Anny Smirnovy na Moskevské univerzitě (2003) byly naučeny mentálně si spojit počet prvků na kartičce s počtem červů, které následně po správném výběru mohly zkonzumovat. Vrány byly schopné provádět i sumaci. Byla jim prezentována karta, kde v první půlce byly dva symboly a ve druhé půlce karty další dva

symboly. Vrána následně vybrala správně nádobu se čtyřmi larvami, které byly v nádobě také rozděleny po dvou (Smirnova, Lazareva & Zorina, 2003).

Psi (*Canis lupus familiaris*) demonstrují schopnost sumace v podobných úlohách, které byly prezentovány makakům (Hauser, MacNeilage & Ware, 1996). Psům byly předkládány příklady typu $1 + 1 = 2$, a stejně jako makaci, i psi sledovali déle chybný výsledek (West & Young, 2002).

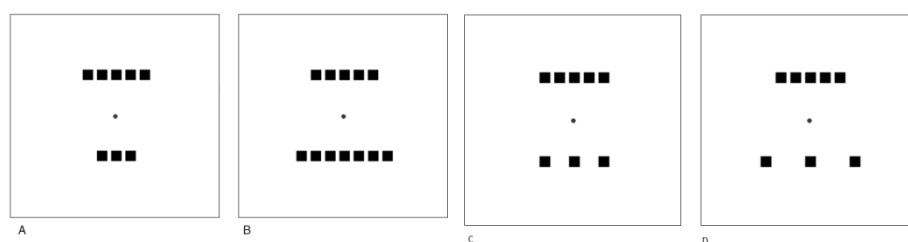
2. 2. 5 ZACHOVÁNÍ MNOŽSTVÍ

Zachování kvantity je úloha, při níž jedinec porovnává různé řady s odlišnými rozestupy daných prvků (Sophian, 1995), nebo množství tekutin v rozdílných nádobách lišící se výškou vodního sloupce (Call & Rochat, 1996).

OPICE (*Simiiformes*)

Makak rhesus (*Macaca mulatta*)

Šesti makakům (*Macaca mulatta*) byly na monitoru prezentovány dvě rovnoběžné řady čtverců. Tyto řady byly různě upravovány. Stejný počet čtverců v řadě byl protažen do větší délky nebo byly rozestupy naopak zkráceny. V některých případech byly přidány další čtverce. V prvním pokusu bylo prezentováno 5 čtverců proti 3, následně byly ke 3 čtvercům přidány další 4 čtverce, čímž se tato původně kratší řada stala delší. Ve druhém pokusu byla řada pěti čtverců stejně dlouhá jako řada se třemi čtverci, poté byla modifikována řada se třemi čtverci zvětšením rozestupů a tím se stala delší (obrázek č. 18). Makaci pomocí joysticku určovali početnější řadu. Takto byly předloženy i další řady: 7 čtverců vs. 5 a 9 vs. 5. Výsledky ukázaly, že postupné změny, které byly na obrazovce demonstrovány, opice velmi dobře registrovaly. Měnily svůj původní výběr jen tehdy, pokud se změnil počet čtverců v řadě, ne pokud se změnil rozestup jednotlivých čtverců. Pět makaků úlohu úspěšně zvládlo, šestý musel být vyřazen z experimentu (Beran, 2007).



Obrázek č. 18: Na monitoru jsou prezentovány řady čtverců, makakové pomocí joysticku vybírají řadu s větším počtem čtverců. A) 5 čtverců versus 3; B) k 3 čtvercům byly přidány další 4 čtverce, řada se tak prodlouží; C) 5 versus 3 čtverce, kdy jsou obě řady stejně dlouhé; D) řada se 3 čtverci je delší než řada s 5 čtverci (Beran, 2007).

Malpa kapucínská (*Cebus capusinus*)

Beran (2008) použil podobný model jako u makaků (Beran, 2007) v experimentu s malpami (*Cebus capusinus*), kde byly na monitoru prezentovány řady čtverců a malpy měly v tomto pokusu opět zvolit početnější řadu. Jedna z řad byla během pokusu modifikována, byly přidány další čtverce nebo se jen měnily rozestupy mezi objekty a řada se tedy prodlužovala nebo zkracovala. Malpy byly citlivé na všechny tyto manipulace a určovaly početnější řadu za obdobných podmínek jako makaci (Beran, 2007). Také reagovaly na základě množství čtverců, aniž by byly rozptylovány manipulací řad nesouvisející se změnou počtu čtverců (Beran, 2008).

Kotul veverovitý (*Saimiri sciureus*)

Czerny a Thomas (1975) využili Piagetovy teorie a metody (1952) ke studiu fylogenetického vývoje kognitivních schopností. Testovali, zda i kotulové (*Saimiri sciureus*) dokáží určit stejné kvantitty.

Experimentátoři rozdělili 5 barevných kelímků dle objemu. Jako odměnu za správnou volbu v pokusu použili hrozinky. Experimenty byly rozděleny do dvou fází: (1) určení rozdílnosti objemu dvou objektů a (2) testování rozlišení stejného/různého objemu. Nejprve byly hrozinky ukryty pod velký a menší kelímek. Výběr velkého kelímku byl vždy odměněn. Tento trénink pokračoval dokud nebylo dosaženo úspěšnosti 9 správných voleb z 10. Ve druhé fázi byly předloženy dva kelímky. Pokud byl jejich objem odlišný, kotulové měli volit hrozinku na levé straně, pokud byl objem identický, správná volba byla hrozinka vpravo. Kotulové byli schopni rozeznat stejný či různý objem v 90% opakování, barva ani tvar neovlivňovaly jejich volby (Czerny & Thomas, 1975).

Orangutan bornejský (*Pongo pygmaeus*)

V experimentech z roku 1996 byli ve schopnosti rozlišit zachování množství kapaliny porovnáváni čtyři orangutani (1 juvenilní jedinec, 2 subadultní jedinci a 1 dospělý jedinec) a deset dětí ve věku 6 až 8 let. Postupně byla zvyšována obtížnost úloh ve čtyřech fázích. Obtížnost úkolu závisela na druhu transformace (kontinuální vs. nekontinuální množství) a relativním rozdílu mezi tvary nádob. Džus, nalévaný do nádob, sloužil jako odměna a zvolené

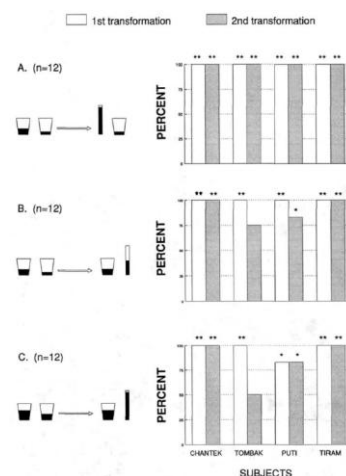
množství mohli orangutani vypít. Vědci předpokládali, že orangutani zvolí spontánně větší množství džusu, protože je preferovanou odměnou. Před začátkem pokusů předložili orangutanům skleničky s různým množstvím džusu, tak aby je orangutani mohli porovnat. Experimentátoři postupně přelávali skleničky do různých nádob a na konci orangutani volili z jiných nádob jiné velikosti a jiného tvaru.

Prvně jim byly ukázány tvarově odlišné sklenice s džusem, poté byl džus přelit do hrníčků. Výsledky ukazují, že orangutani si vybírají větší množství džusu nezávisle na tvaru sklenice.

V další části byla nejprve opakována první fáze a poté, co orangutani zvolili jeden hrníček, byly oba hrníčky znovu přelity do dalších nádob a orangutani měli opět zvolit větší objem.

Ve dalším experimentu byly sklenice nejprve přelity do jiných sklenic a poté jedna z nich znovu do zkumavek (obrázek č. 19). Opice opět uspěly, pouze jeden orangutan po přelití většího množství do zkumavky neuspěl.

Obrázek č. 19: Sklenice džusu byly přelity do jiných sklenic a následně do zkumavek. V této části experimentu (C) při přelití většího množství džusu jeden orangutan neuspěl (Call & Rochat, 1996).



V jiném experimentu byl obsah jedné sklenice přelit do jedné jiné sklenice a obsah druhé sklenice do více sklenic. Juvenilní a jeden subadultní jedinec vybírali správně ty sklenice, které byly původně v jedné sklenici s větším objemem, tudíž vybírali pouze na základě množství džusu bez ohledu na počtu skleniček. Dospělý samec vybíral jednu skleničku s nejvyšší hladinou a druhý subadultní jedinec vybíral skleničky náhodně.

V posledním pokusu byly testovány děti v obdobných experimentech, jaké byly provedeny u orangutanů. V každém pokusu byla provedena jen dvě opakování. Pokud děti při obou opakováních správně zvolily větší množství, postoupily do dalšího testu. Některé děti

volily vyšší hladinu nebo větší počet skleniček a některé vybíraly širší skleničku s nižší hladinou. V konceptu zachování množství uspěly pouze 2 děti z 10 (Call & Rochat, 1996).

Šimpanz učenlivý (*Pan troglodytes*)

Dospělá samice Sarah (*Pan troglodytes*) byla trénována na rozpoznání množství kapalin i pevných objektů a k rozpoznání zachování obou množství i po následné transformaci. Dokázala určit, zda jsou oba předložené předměty stejného tvaru nebo uměla rozlišit, že předměty stejné nejsou. Po tomto tréninku byly Sarah ukázány dvě stejné sklenice se stejným množstvím tekutiny a poté byla jedna sklenice přelita do užší sklenice, takže se viditelně změnila hladina. Při testech byly prováděny i kontroly: v některých testech bylo použito nestejné množství před i po transformaci, nebo se při některých transformacích množství změnilo (např. byla dolita voda). Sarah dokázala rozpoznat stejné množství látek, ale transformaci množství rozpoznat nedokázala (Woodruff, Premack & Kennel, 1978).

ČLOVĚK

Experimenty týkající se zachování kvantity patří mezi Piagetovy experimenty, který mi zkoumal kognitivní schopnosti. V roce 1952 Piaget zjišťoval pomocí transformací řad, zda děti chápou zachování kvantity. Nejprve dětem prezentoval dvě řady o stejném počtu objektů. Děti měly určit, zda jsou obě řady stejně početné. Poté před dětmi změnil rozestupy mezi jednotlivými objekty tak, že se řada buď prodloužila nebo zkrátila. Děti při správné odpovědi o vyrovnaném počtu objektů měly svoje rozhodnutí vysvětlit: pokud se řada pouze roztáhne, počet objektů se nezmění (Piaget, 1952).

Děti ve věku 3 až 6 let byly testovány ve schopnosti chápat zachování kvantity mezi dvěma sadami objektů. V prvním experimentu byly předkládány 4 objekty (rybičky dvou barev, knoflíky a medvědi). Tyto objekty byly přišity na stuhu s pevně danou délkou nebo na roztažitelnou gumu. Každému dítěti byly předloženy dvě natahovatelne gumy s objekty (odlišně napnuté) a také stuhu s jinými objekty stejného nebo odlišného počtu. Čím byly děti starší, tím spíše posuzovaly množství objektů podle počtu a ne podle délky gumy nebo stuhu.

Ve druhém experimentu byly prezentovány početnější sady objektů, aby je děti nemohly spočítat. Výsledky byly stejné, mladší děti byly ovlivněny délkou řad (Sophian, 1995).

2. 2. 6 PROPORCIONALITA

Asi nejobtížnější numerickou schopností je chápání stejných proporcí, tedy schopnost rozpoznat a přiřadit k sobě stejně velké objekty, které jsou rozděleny na různě velké části (Woodruff & Premack, 1981).

OPICE (*Simiiformes*)

Šimpanz učenlivý (*Pan troglodytes*)

V této jediné práci, která studovala chápání proporcí, vědci testovali jednoho dospělého a čtyři juvenilní šimpanze (*Pan troglodytes*) pomocí úlohy „match-to-sample“. Šimpanzi k sobě měli přiřadit vždy stejné kousky jablek, které byly rozděleny na různě velké části ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ a 1). V úlohách se jednotlivé kusy lišily ve tvaru, barvě nebo hmotnosti, délce a ploše. Juvenilní jedinci nedokázali přiřadit stejné kusy jablek a v této úloze neuspěli, zatímco dospělý jedinec k sobě dokázal všechny odpovídající kusy přiřadit správně (Woodruff & Premack, 1981).

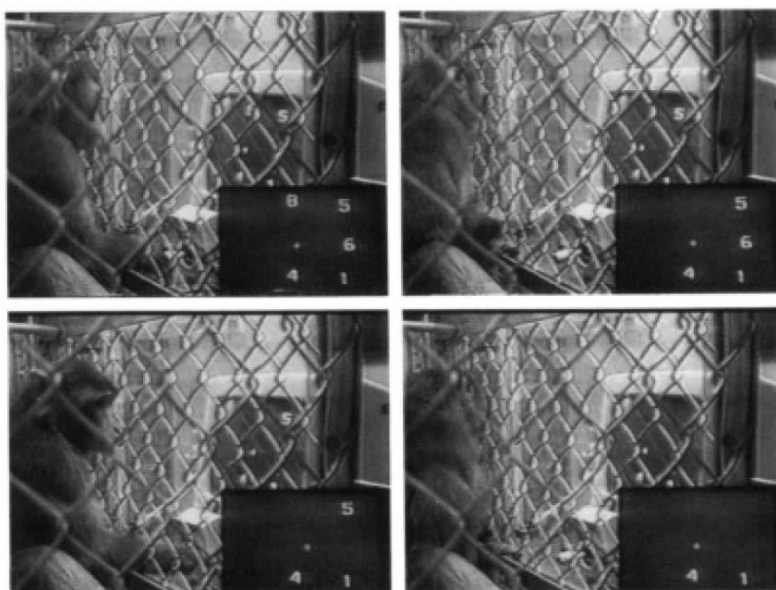
2. 2. 7 ORDINALITA A TRANSITIVITA

Ordinalita je jedna z obtížnějších numerických kompetencí, která umožňuje seřadit jednotlivé prvky (čísla i písmena) tak, jak jdou v řadě za sebou (Boysen, Berntson, Shreyer & Quigley, 1993). Transitivita umožňuje pochopit vztahy mezi danými prvky, při které jedinec dokáže přiřadit počet prvků k danému číslu nebo symbolu (Smirnova, Lazareva & Zorina, 2003).

OPICE (*Simiiformes*)

Makak rhesus (*Macaca mulatta*)

Washburn a Rumbaugh (1991), stejně jako mnozí další, chtěli zjistit, zda zvířata umí nějakým způsobem pochopit množství. Po 900 opakováních byla u makaků (*Macaca mulatta*) potvrzena kompetence ordinality a transitivity. V experimentech byli testováni dva makakové, kteří se dokázali naučit rozeznat větší číslici z výběru od 0 do 9, kdy každá cifra odpovídala stejnému množství jedlých kuliček. Následně se naučili seřadit pět jednotlivých čísel, která byla náhodně rozmístěna na obrazovce tak, jak jdou správně v řadě za sebou (obrázek č. 20). Nejprve makaci dokázali vybrat největší číslici a poté dále řadili čísla sestupně až k nejmenšímu (Washburn & Rumbaugh, 1991).



Obrázek č. 20: Makak na obrázku vybírá čísla v pořadí od největšího po nejmenší (Washburn & Rumbaugh, 1991).

O několik let později byly dva makaci Rosencrantz a Macduff trénováni na řazení určitého počtu objektů za sebou vzestupně, sestupně i náhodně, dle předběžně vytvořeného modelu. Jednotlivé prvky byly odlišné ve velikosti, barvě, tvaru apod. Nejprve makaci dokázali řadit čísla od 1 do 4 vzestupně a později i sestupně. Makak, který byl učen řadit číslíce v řadě 3–1–4–2 nebyl úspěšný. Řazení čísel postupně za sebou, vzestupně i sestupně, je tedy mnohem snazší. V další fázi byly přidány další číslíce a vědci dokázali, že makakové jsou schopni správně seřadit nově prezentované stimuly od 5 do 9. Výsledkem studie tedy je, že opice přirozeně věnují pozornost vztahům mezi početnostmi (Brannon & Terrace, 2000).

Šimpanz učenlivý (*Pan troglodytes*)

Tři dospělí šimpanzi (*Pan troglodytes*) byli testováni ve využití schopnosti řadit jednotlivé prvky za sebou a také v mentální schopnosti přiřadit číslíci k počtu prvků. Na začátku experimentu byli naučeni rozlišovat a vzájemně k sobě přiřadit čtyři páry barevných krabic označených písmeny AB-BC-CD-DE. V dalších testech vědci spárovali jiné dvojice písmen a šimpanzi opět po předchozím tréninku dokázali přiřadit jedno písmeno ke druhému, které tak tvořilo pár. Experimentátoři dále zaměnili písmena za číslíce 1 až 5 (1-2, 2-3, 3-4, 4-5) a po správném přiřazení všech dvojic čísel spárovali v dalším pokusu vždy dvě nesousední čísla. Pouze jeden šimpanz spolehlivě volil i správné číslo z nesousedního páru, jako například číslo 4 z předložené dvojice 2 a 4. Ostatní nedokázali čísla takto přiřadit, museli být déle trénováni a znovu přezkoušeni (Boysen, Berntson a kol., 1993).

ČLOVĚK

Vědci již delší dobu studovali schopnost transitivity (např. $A > B$ a $B > C$, pak $A > C$) u dětí předškolního věku, obzvláště poté, co byly prokázány paralelní schopnosti u zvířat (Boysen, Berntson a kol., 1993; Washburn & Rumbaugh, 1991). V tomto experimentu vědci studovali schopnost transitivity u dětí ve věku šestnácti měsíců. Prezentovali dětem tři stejně velké, ale různě barevné fotbalové míče (žlutý, červený a zelený). Během lineární prezentace experimentátor preferoval červený míček před žlutým a žlutý před zeleným. Očekávala se

tedy i u dětí preference červeného míč před zeleným. Během reverzní prezentace byl žlutý míč favorizován nad zelený a stejně tak červený nad žlutý, proto se u dětí předpokládala preference pro červený míč během výběru mezi tímto a zeleným míčem. Předchozí experiment ale neposkytl důkazy o schopnosti lineárního řazení. V následujícím pokusu, kdy byl preferován žlutý míč před zeleným a červený před žlutým, děti po vybídnutí správně sestavily řadu následovně: červený – žlutý – zelený (Mou, Province & Luo, 2014).

OSTATNÍ ZVÍŘATA

Holubi (*Columba livia*) byli zprvu učeni rozlišit jednotlivé barvy (modrá, červená, zelená, žlutá). Později experimentátoři přiřadili barvám jednotlivá písmena (A, B, C, D) a holubi dokázali seřadit jednotlivé barvy do řady, která zároveň korespondovala s písmeny: A-B-C-D (Straub & Terrace, 1981).

Holubi byli také testováni i na relativní početnost, kdy rozlišovali stimuly různých tvarů, velikostí i pozic a řadili je do dvou kategorií: málo objektů a mnoho objektů. Holubi rozlišovali rozdíl „málo“ versus „mnoho“ na základně numerického rozlišování, nespolehali na jiné parametry stimulů. V rámci tohoto testování prokázali schopnost utvořit řadu od 1 až po 7 stimulů, tedy schopnost ordinality (Emmerton, Lohmann & Niemann, 1997).

V experimentu provedeném o tři roky později, se holubi byli schopni naučit rozlišovat mezi dvěma vizuálními stimuly, které překrývaly potravu. Stimul se lišil počtem nebo objemem, každý stimul korespondoval se zakrytým počtem zrn, který byl vždy lichý (1, 3, 5, 7, 9). Vyšší počet samozřejmě zabíral zároveň větší povrch. Holubi dokázali vybrat správný stimul ukrývající nejpočetnější množství zrn a uměli seřadit jednotlivé stimuly od 1 do 9 postupně za sebou (Olthof & Roberts, 2000).

Papouškovi šedému (*Psittacus erithacus*) jménem Alex byla prezentována sada se třemi sety stejných kostek různých barev a každý set obsahoval i jiný počet objektů (2 oranžové kostky, 3 modré a 6 zelených) nebo tři sety různých objektů stejných barev v jiném množství. Papoušek dokázal odpovědět na otázku, jakou barvu mají kostky, kterých je v setu šest. Téměř se stoprocentní úspěšností zvládl schopnost ordinality a pochopil, že poslední objekt určuje i celkové množství objektů (princip kardinality) (Pepperberg, 2013).

Pfuhl a Biegler (2012) testovali kavky (*Corvus monedula*) a jejich schopnost ordinality. Kavkám byly během tréninku předkládány trojice barevných obrázků a to vždy ve stejném pořadí. Do testu, v němž měly kavky obrázky řadit ve správném pořadí, přidali experimentátoři vždy jeden obrázek z jiného setu. Po prezentaci tří jednotlivých obrázků se ukázala obrazovka se čtyřmi obrázky. Pokud kavky někdy chybovaly, bylo to v případech, kdy řadily trojici ve špatném pořadí nebo obrázek, který byl navíc, umísťovaly na pozici, kterou zaujímal ve svém vlastním setu. Později byly pro kontrolu některé známé položky nahrazeny novými a byly vytvořeny nové sekvence s těmito obrázky. Experiment prokázal, že kavky skutečně koncept ordinality ovládají (Pfuhl & Biegler, 2012).

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1.1 Cíle práce

1. Studovat kognitivní schopnosti makaků rhesus v úloze porovnání relativní početnosti.
2. Sledovat preferenci makaků i dětí při výběru určitého konkrétního množství a preference mezi velikostí a množstvím kusů potravy.

3. 1. 2 RELATIVNÍ POČETNOST (EXPERIMENT 1)

3. 1. 2. 1 METODIKA

Subjekty

Testovanými jedinci byli čtyři dospělí samci druhu makak rhesus (*Macaca mulatta*) – Attila, Puck, Vergilius a Dante. Starším samcům Attilovi a Puckovi bylo na začátku tohoto testování 14 let, mladším jedincům Vergiliovi a Dantemu bylo 6 let.

Attila a Puck za sebou měli řadu let kognitivního tréninku, jak v prostorových úlohách s využitím dotykové obrazovky, tak i s využitím dotykového panelu. Byli podrobeni testování v úlohách object permanence (stálosti objektu) a zjišťovala se i jejich reakce na nové objekty (neofobie vs. neofilie). Mladší jedinci, Vergilius a Dante, byli do započetí tohoto experimentu testováni pouze na stálost objektů a preferenci nových objektů. Současně s mým testováním probíhal experiment na preferenci barev, který byl prováděn u všech čtyř makaků.

Primáti jsou chováni ve specializovaném zařízení Ústavu normální, patologické a klinické fyziologie 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze (zařízení autorizované Ústřední komisí pro ochranu zvířat Ministerstva zemědělství ČR, licence 20744/2007-10001). Samci jsou chováni společně v jedné místnosti. Attila s Puckem sdílí jednu voliéru a Dante s Vergiliem druhou voliéru. Mezi těmito dvěma voliérami je prostor pro manipulaci s opicemi.

Mladší jedinci byli během mého testování ve fázi, kdy u nich nebyla plně ustanovena hierarchie. Postupem času se začínala rozvíjet a zdálo se, že Vergilius je nadřazen Dantemu. Mezi Attilou a Puckem je téměř od začátku dána pevná hierarchie. Attila je nadřazený nejen Puckovi, ale svoji nadřazenost ukazuje i ostatním samcům, přestože s nimi nikdy nepříjde do přímého kontaktu. Attila ukazuje svoji dominanci neustálým vyhrožováním, kdy se sklopenými ušima vycení zuby a výhrůžně vokalizuje na ostatní samce. Puck je ze všech jedinců nejvíce submisivní, pravděpodobně proto, že sdílí voliéru s nejdominantnějším samcem. Jeho submisivita se projevuje trhaným pohybem, neustále kontroluje svoji pozici vůči Attilovi, k potravě přichází vždy až po Attilovi a ve srovnání s ostatními samci je menšího vzrůstu, má řidší srst a bledé okolí testes.

Během všech experimentů, kdy je testován Puck, přemísťujeme Attilu do manipulační voliéry, zatímco při testování Attily jsou oba jedinci ve voliére společně. Puck během experimentů Attilu nijak neohrožuje. Attila je během testování agresivní a je těžké udržet jeho pozornost, protože neustále kontroluje pozice a chování Vergilia a Danteho ve vedlejší voliére. Puck je během testování velice horlivý. Jeho snahou je, aby získal co nejvíce nabízené a dostupné odměny. Vergilius, ač se zdá být hierarchicky výše postavený než Dante, je velice bojácný a během kontaktu s experimentátorem mu často hrozí otevřenou tlamou, což v tomto případě značí pasivní hrozbu. Během experimentu je těžší udržet jeho pozornost, často se mezi jednotlivými opakováními vrací zpět na místo, kde tráví obvykle většinu času. Dante je k experimentům mnohem otevřenější a je motivovaný plnit úlohy. Často již při přípravě experimentu zaujme místo na pozici, kde se v jeho voliére běžně testuje.

Všichni jedinci spolu udržují vizuální i akustický kontakt, přímý fyzický kontakt je prozatím možný pouze v rámci dvojic.

Opice mají denně k dispozici dávku standardní krmné směsi pro primáty, která je ve formě granulí, a ovoce nebo zeleninu.

Aparatura

Aparaturu používanou během experimentů tvoří deska z dřevotřísky s rozměry 30 x 50 cm se zvýšenými okraji o 10 cm na stranách nepřiléhajících k voliére. Na čtvrté straně bez zvýšeného okraje jsou připevněny dva háky, kterými se deska připevňuje z vnější strany k voliére (obrázek č. 21). Na desce je při experimentu umístěn zvonek, který signalizuje moment, kdy opice provedla svoji volbu. Umožňuje nám tak opice trénovat k nucenému výběru, kdy si mohou zvolit pouze jednu možnost.

V experimentu používám dva plastové kalíšky o průměru 8 cm různé barvy. Jako reálné objekty použité pro testování schopnosti posoudit relativní početnost prvků používám přímo samotnou potravní odměnu - rozinky, brusinky, mandle, oříšky, atd.

Průběh všech experimentů byl nahráván na kameru pro pozdější analýzu a možnou kontrolu. Zároveň jsou volby zaznamenávány během testování do záznamových archů. Barva

kalíšku, počet objektů a strana (pozice kalíšku s určitým počtem) jsou během celého experimentu znáhodněny.



Obrázek č. 21: Aparatura používaná při testování relativní početnosti s příkladem (3 vs. 4).

Behaviorální procedura

Testování Attily a Pucka probíhalo v období od srpna 2014 do ledna 2015. Experimenty s Vergiliem a Dantem musely být v prosinci 2014 přerušeny z důvodu konfliktů při ustanovování nové hierarchie mezi nimi. Opice byly již z předchozích experimentů naučeny manipulovat a zvedat kalíšky, pod kterými je schovaná odměna. Předchozí pokusy ukázaly, že testovaní jedinci zvládají toto stadium úlohy stálosti objektu, tedy, že si pamatují pozici objektu schovaného pod kalíškem. Testování u každého jedince bylo provedeno vždy na stejném místě v jeho chovné voliére. V místnosti, kde se prováděly experimenty, se nacházely i ostatní opice. Opice, která byla ve voliére s testovaným jedincem, byla přemístěna do manipulační voliéry, aby nenarušovala experiment (s výjimkou Attily a Pucka, viz výše). Při testování byla na vnější straně klece umístěna aparatura, právě v místě, na které je zvíře při testování zvyklé (sedátko/houpačka) a může také snadno manipulovat s kalíšky.

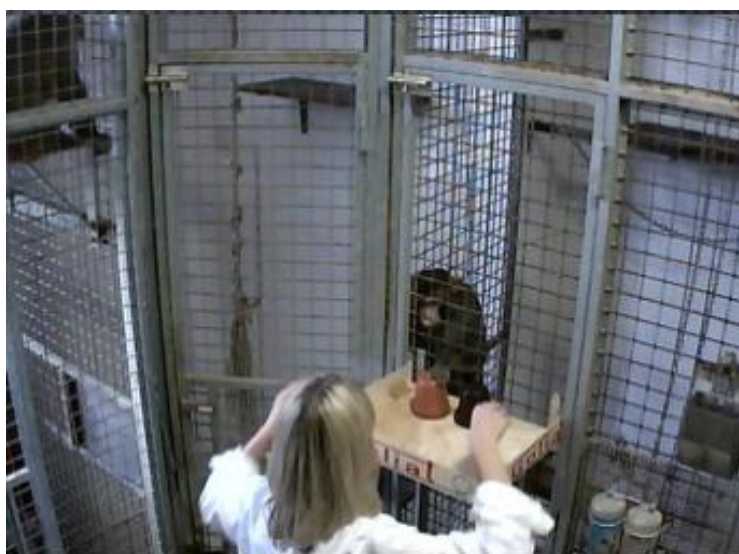
Tento experiment se skládal ze 13 sezení po 10 opakováních, každé opakování probíhalo v rozmezí 10 – 15 minut, což záviselo i na motivaci testovaného samce. Testování jsem se vždy účastnila pouze já. Každé sezení probíhalo v jeden den, kdy jsem snažila

testovat všechny čtyři opice. Před každým opakováním jsem opici předložila dva sety reálných objektů, které v tomto případě sloužily zároveň jako odměny (tabulka č. 2). Oba sety mohly mít 1-5 prvků.

	1	2	3	4	5
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓

Tabulka č. 2: Prezentované počty odměn.

Stimuly jsem předložila v různých prostorových konfiguracích, ale vždy zabíraly vnitřní plochu stejné kružnice. Oba sety, lišící se v počtu položek, jsem skryla pod jeden kalíšek na levé straně a pod druhý kalíšek na pravé straně a přisunula jsem je oba zároveň blíže k opici, která v tuto chvíli mohla na kalíšky dosáhnout a vybrat si mezi nimi (obrázek č. 22). Kalíšek, který nebyl zvolen, jsem po výběru přitáhla zpět i se skrytou odměnou, mimo dosah jedince. Opice nebyly explicitně trénovány k některé z voleb, předpokládala jsem, že budou spontánně volit větší množství odměny. Tento design má výhodu, že nevyžaduje žádný kognitivní pretrénink, na druhou stranu výkon v úloze je úzce spojen s potravní motivací a může se stát, že výsledky, které interpretuji jako kognitivní selhání, mohou být snadno způsobeny změnou v motivaci.



Obrázek č. 22: Vergilius při volbě jednoho z kalíšků.

POTRAVNÍ PREFERENCE

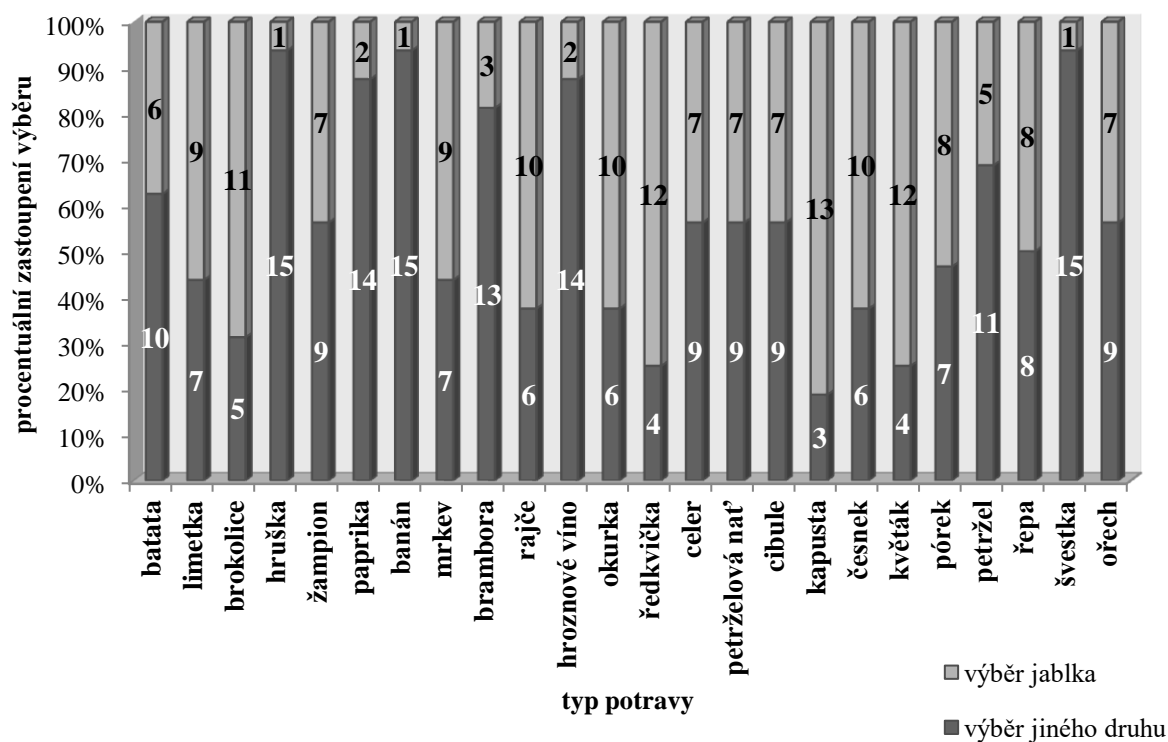
Právě z důvodu úzké vazby motivace a výkonu v úloze, jak bylo zmíněno výše, jsem chtěla ověřit, zda primátům v podobě odměny předkládám skutečně preferovanou potravu. Tímto zjištěním jsem chtěla předejít možné situaci, kdy by si opice v experimentech vybírala raději systematicky méně kousků, protože by pro ni tato potrava nebyla atraktivní.

Vybrala jsem 24 různých typů potravy, do kterých jsem zahrnula ovoce, zeleninu a ořechy. Všechny typy potravy jsem předkládala spolu s jablkem – potravou, u které známe její hodnotu pro testované primáty, protože je standardně předkládána jako doplněk suché potravy. Obě potraviny jsem položila na desku a poté jsem je ukryla pod kalíšky a posunula blíže k opici. Opice, která je na tento typ testování trénována z mnoha předešlých experimentů, si zvolila jeden kalíšek, předpokládáme, že spontánně vybrala preferovanější potravu. Během pokusu jsem opětovně znáhodnila i stranu a barvu kalíšku.

Netestovala jsem veškeré potraviny vůči sobě, ale testovala jsem, zda jsou jednotlivé typy potravin více preferované než jablko nebo méně.

Výsledky ukázaly preferenci určité potravy u všech makaků (graf č. 1). V mých pokusech jsem tedy makakům dále předkládala ten nejpreferovanější zdroj potravy pro každé zvíře, abych co nejvíce zvýšila jejich motivaci spontánně volit to největší množství odměny.

Potravní preference makaků



Graf č. 1: Preference jiných druhů potravy v porovnání s jablkem.

Statistická analýza

Data byla na konci všech experimentů zpracována statistickým programem R pomocí marginálního modelu GLM s funkcí `geeglm` pro binomické rozdělení s faktorem individuálního jedince a s opakováním.

3. 1. 2. 2

VÝSLEDKY (EXPERIMENT 1)

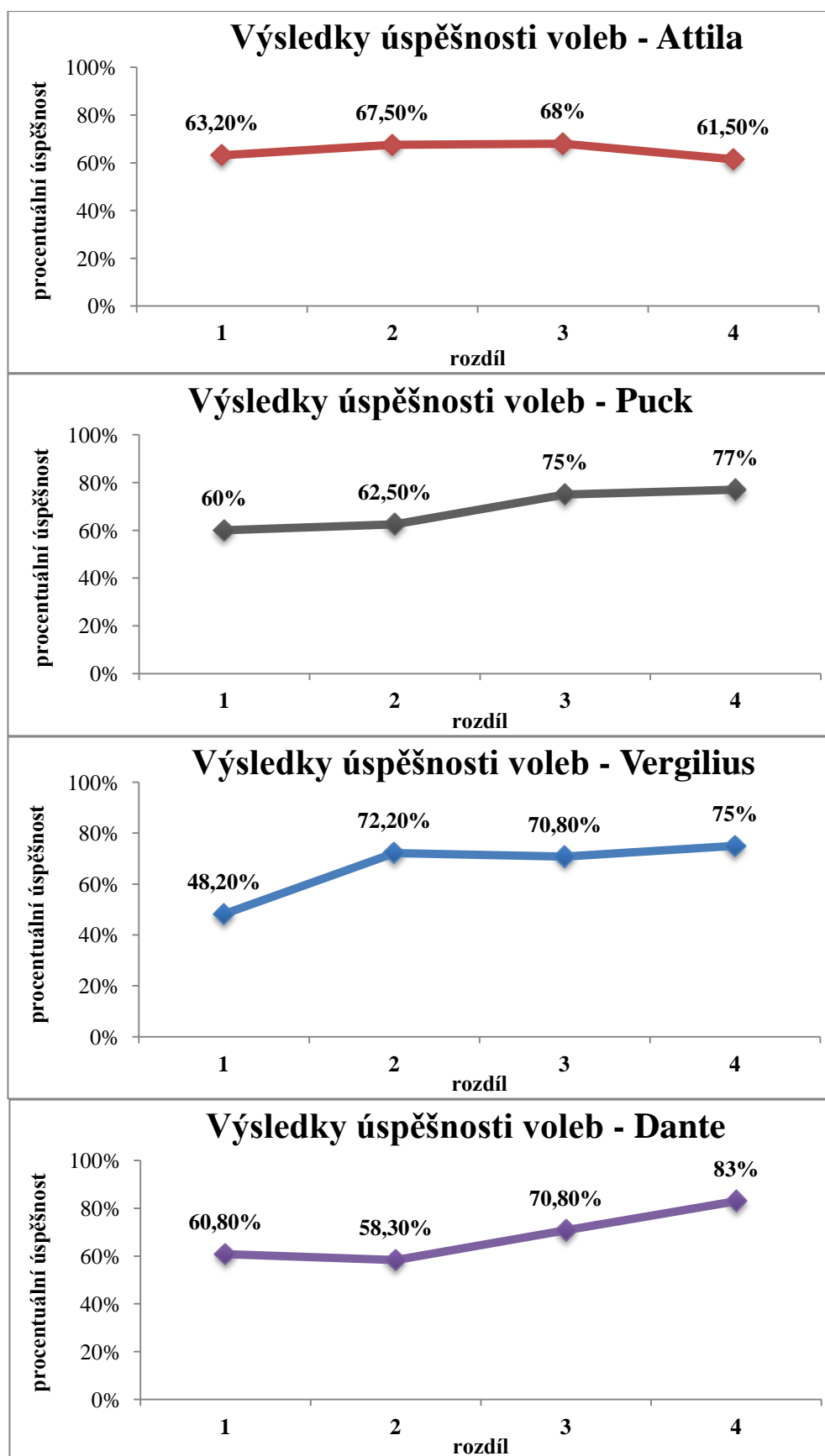
Tento experiment se skládal ze 13 sezení. Během jednoho sezení jsem makakům postupně prezentovala 10 dvojic setů v různých poměrech (1:2; 1:3; 1:4; 1:5; 2:3; 2:4; 2:5; 3:4; 3:5 a 4:5). Pro kontrolu jsem zařadila i sety stejně početné, což umožnilo ověřit, zda makaci systematicky nepreferují konkrétní pozici kalíšků.

Sledovala jsem schopnost makaků rozlišit menší a větší množství odměny. Jako kritérium výkonu jsem použila procentuálně vyjádřený poměr správné volby vůči všem volbám v dané kategorii. Opice nebyly trénovány na výběr konkrétního množství, ale předpokládala jsem, že spontánně zvolí větší množství odměny a tuto volbu jsem označovala za správnou.

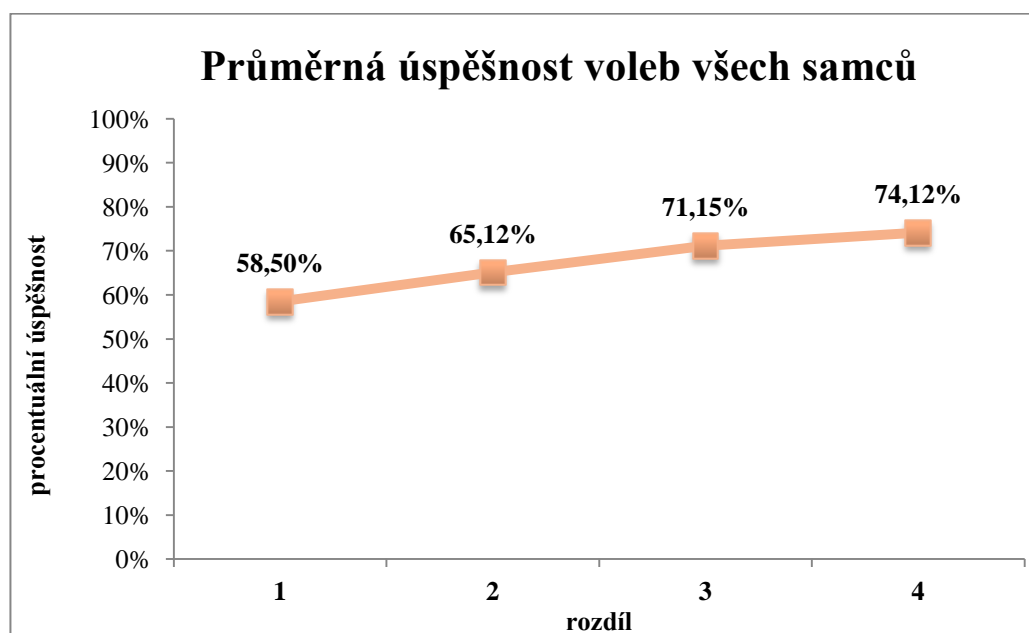
Ze získaných dat jsem vyhodnotila kritéria:

1. úspěšnost všech voleb v závislosti na velikosti absolutního rozdílu mezi dvěma sety
2. úspěšnost všech voleb v závislosti na velikosti poměru mezi dvěma sety

Porovnála jsem úspěšnost všech samců v závislosti na velikosti absolutního rozdílu, poměru i celkové úspěšnosti všech opakování. Výsledky jsou vypočítány pro každou opici zvlášť (graf č. 2 a č. 5) i pro všechny samce dohromady (graf č. 3 a č. 6). Úspěšnost všech opic se často velmi lišila, což mohl zapříčinit jejich věk nebo personalita a pozice v hierarchii či zkušenosti z předchozích experimentů, ale i momentální motivace.

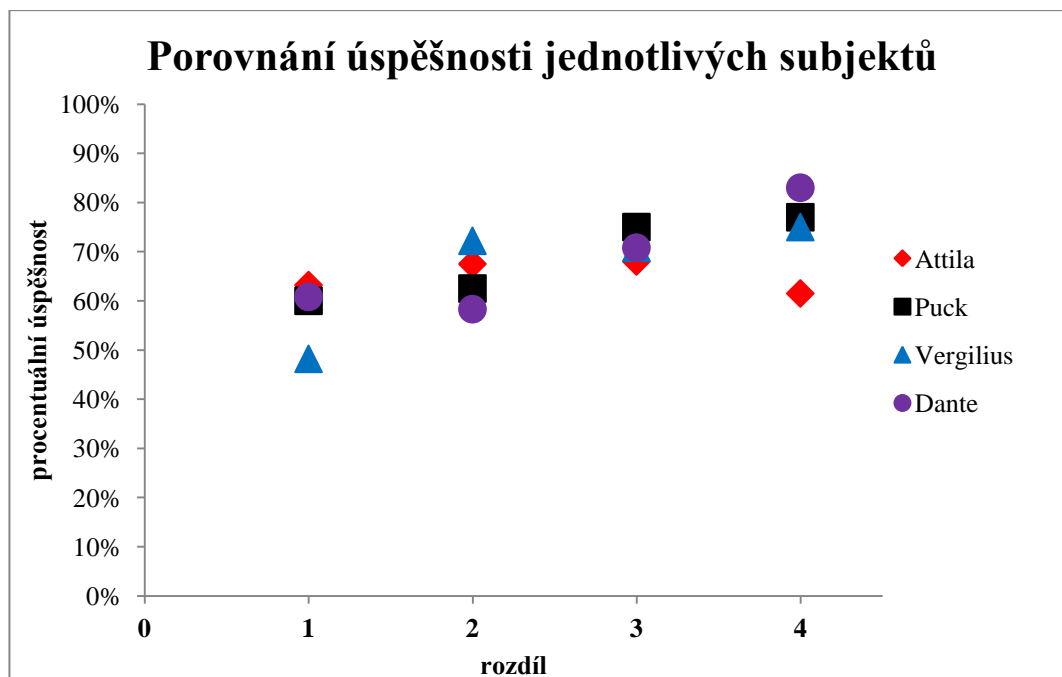


Graf č. 2: Úspěšnost jednotlivých makaků v experimentu 1. Na ose x je absolutní *rozdíl hodnot* mezi oběma volbami (např. 3 vs. 5 odměn, tedy rozdíl 2), osa y znázorňuje *procentuální úspěšnost* při řešení úlohy (volba větší odměny je považována za správnou volbu).



Graf č. 3: Úspěšnost ve schopnosti rozeznat větší počet odměny zprůměrovaná pro všechny jedince. Na ose x je absolutní rozdíl hodnot mezi oběma volbami, osa y znázorňuje procentuální úspěšnost.

Tyto výsledky ukazují úspěšnost stoupající spolu s velikostí rozdílu množství mezi dvěma sety (graf č. 3). Čím větší byl rozdíl mezi dvěma sadami, tím snazší byla volba většího počtu odměny. Se stoupající výhodností výběru většího množství, tedy i se zvětšováním rozdílu, se zvyšovala úspěšnost volby početnějšího setu odměny (geeglm, $df = 1$, $\chi^2 = 30,98$; $p = 2,6 \cdot 10^{-8}$).



Graf č. 4: **Porovnání úspěšností jednotlivých jedinců.** Na ose **x** je absolutní *rozdíl hodnot* mezi oběma volbami, osa **y** znázorňuje *procentuální úspěšnost*.

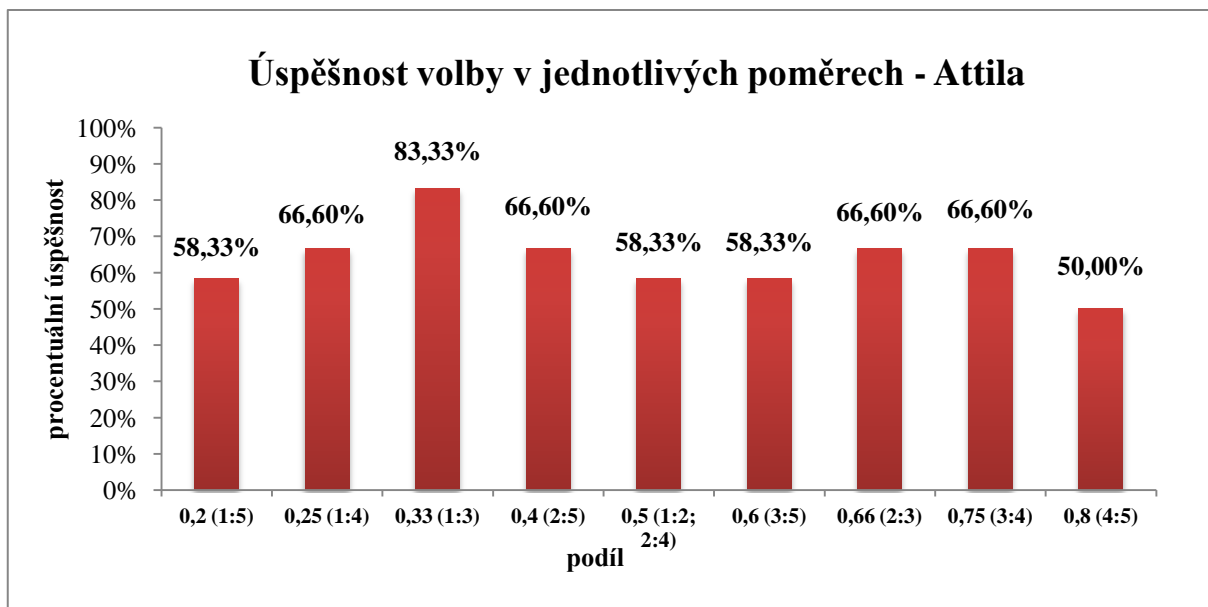
Výsledky makaků *Pucka* a *Danteho* (graf č. 2 a č. 4) při testování relativní početnosti ukazují očekávatelné výsledky, které odpovídají Webrovu zákonu - se zvyšujícím se rozdílem mezi dvěma reálnými množstvímí roste i úspěšnost správné volby.

Výsledky *Vergilia* (graf č. 2 a č. 4) se jen mírně odchyľují od Webrova zákona (graf č. 2 a č. 4), kdy je úspěšnost volby, v rozdílu lišícím se o dva prvky mezi položkami (1:3; 2:4; 3:5), nepatrně vyšší než při volbě rozdílu mezi odměnami lišícím se o tři prvky (1:4; 2:5).

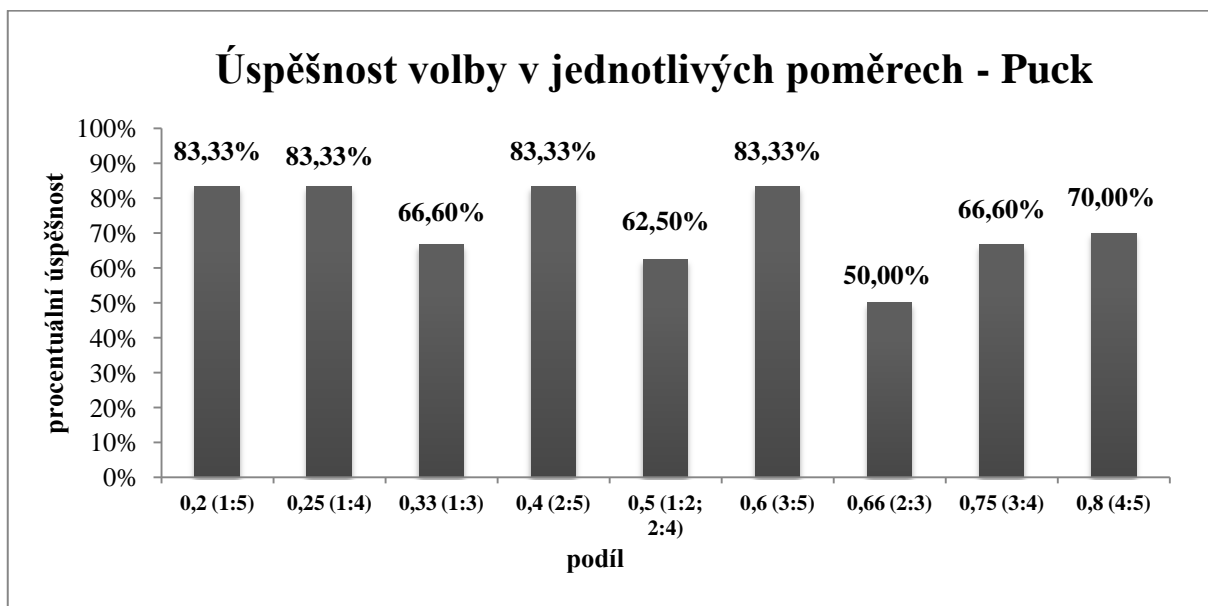
Attilova úspěšnost mezi jednotlivými volbami byla velmi kolísavá (graf č. 2 a č. 4). Ačkoliv by nejsnadněji rozpoznatelný poměr 1:5 (rozdíl 4) měl vykazovat největší úspěšnost, Attila správně volil pouze v 61,50% opakování, což byla zároveň i jeho nejnižší úspěšnost.

Ve svých výsledcích jsem se také zaměřila na úspěšnost volby v jednotlivých poměrech mezi dvěma sety (graf č. 5).

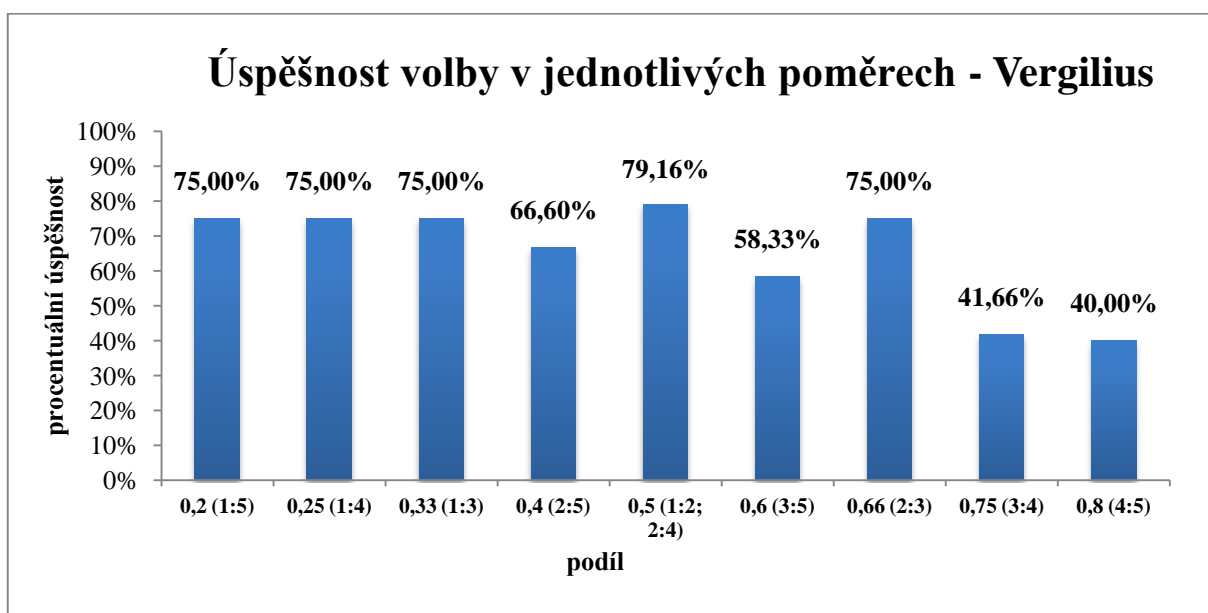
A)



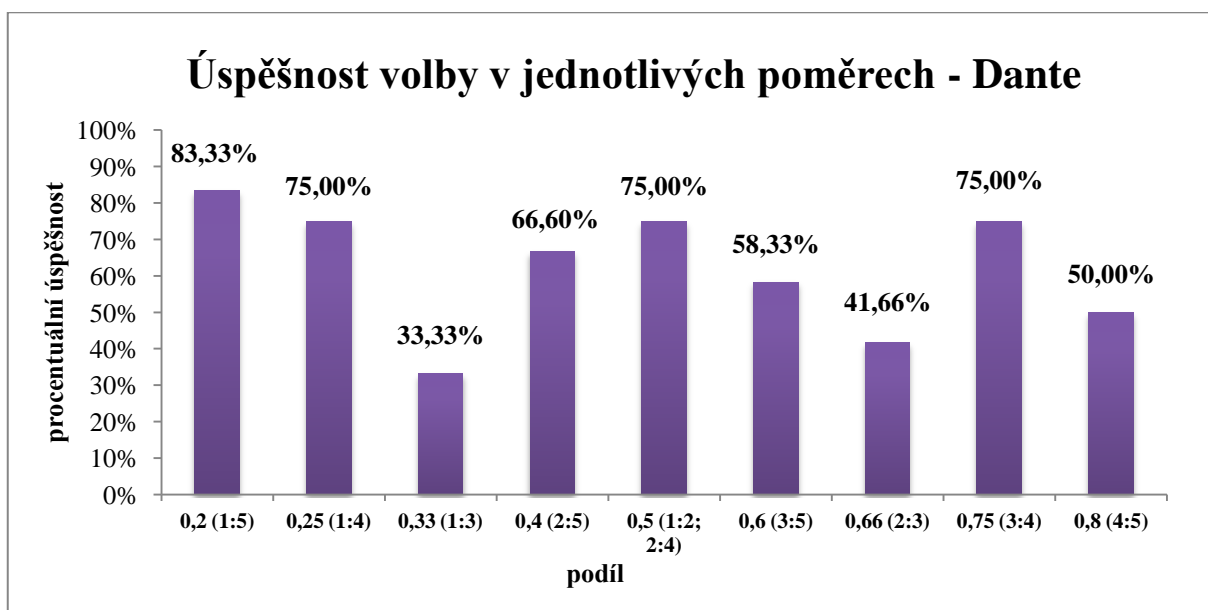
B)



C)



D)



Graf č. 5 A-D: Úspěšnost při volbě početnější odměny v jednotlivých poměrech u jednotlivých makaků. Na ose **x** je *poměr* mezi dvěma hodnotami (např. 3 odměny vs. 5 odměn, tedy poměr 0,6), osa **y** znázorňuje *procentuální úspěšnost*.

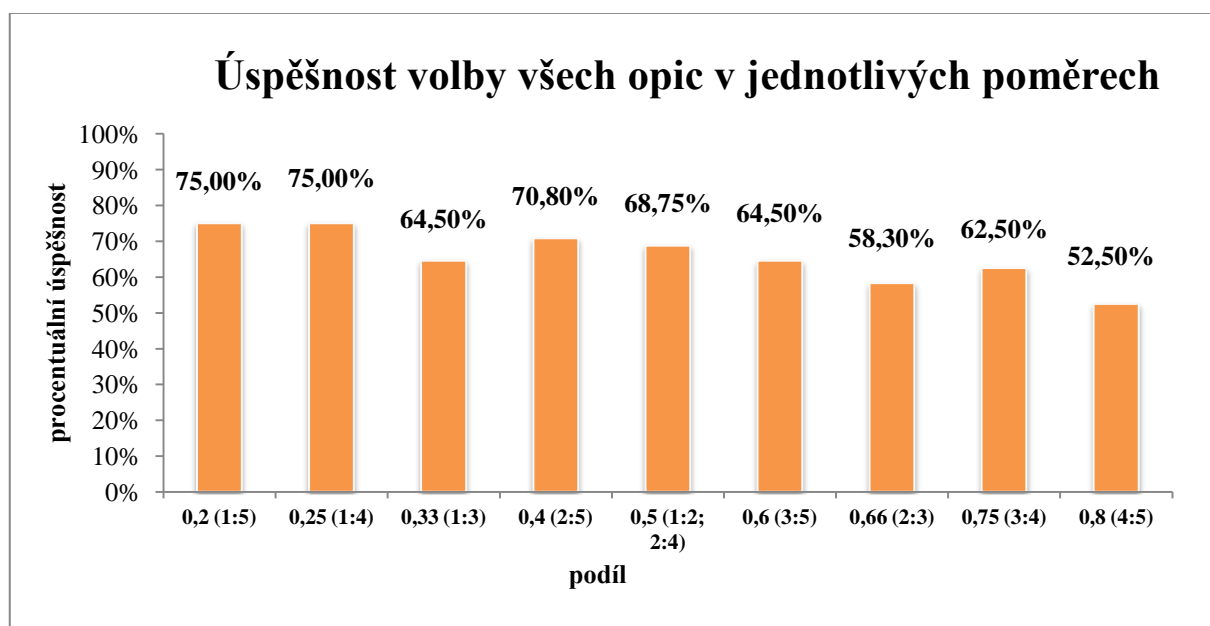
Ve výsledcích *Attily* byla nejúspěšnější volba v poměrech 1:3, kdy Attila správně vybíral početnější odměnu, tedy 3 prvky. Nejméně úspěšná byla volba 5 odměn proti 4, kdy se sety lišily jen o 1 prvek. Poměr 0,2 (1:5) byl správně volen překvapivě pouze v 58,33%

případů, ačkoliv je nejlépe rozlišitelný (graf č. 5A).

Puck byl v experimentu rozlišení relativní početnosti, v některých kategoriích, úspěšnější než ostatní makaci. Při podílu setů 1:5 byl podle očekávání ve svých volbách nejúspěšnější. Ale i při nejobtížněji rozlišitelném rozdílu mezi sety 4:5 (0,8), kdy měl *Puck* volit správně 5 odměn, byl úspěšný v 70% (graf č. 5B).

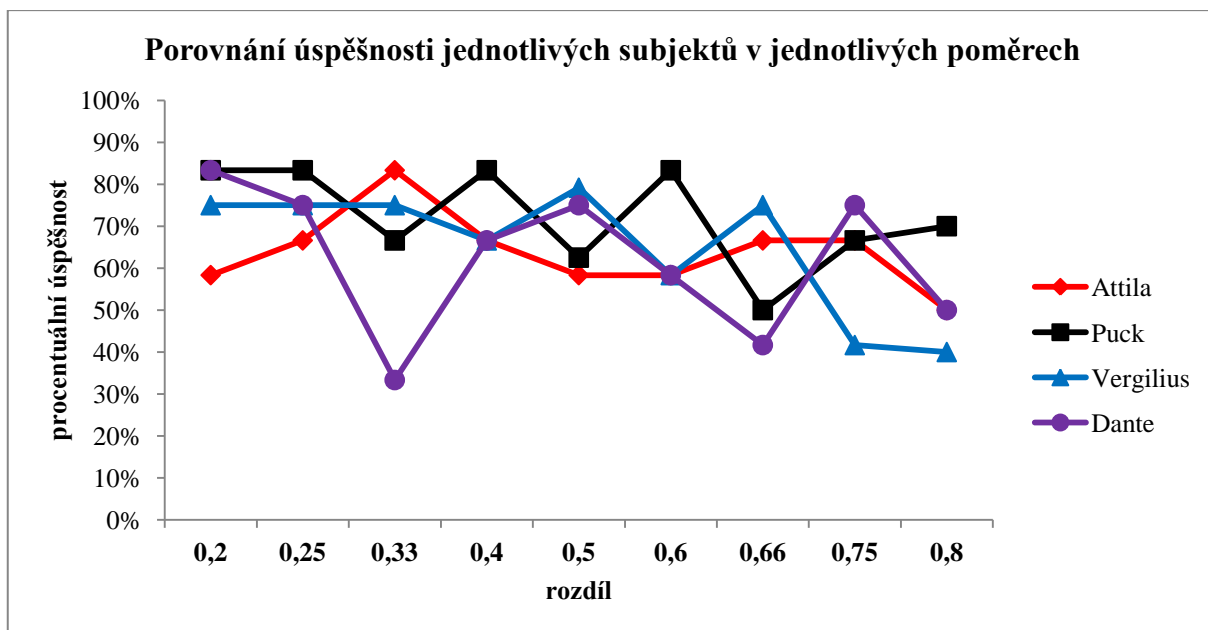
Vergilius volil nejčastěji správný počet mezi sadami v případě, kdy se oba sety lišily dvojnásobně (1:2; 2:4). Nejnižší očekávaná úspěšnost byla při volbě mezi 4 a 5 odměnami, a to pouhých 40% (graf č. 5C).

Dante byl nejúspěšnější při volbě 1 položky vs. 5, kdy volil 5 položek, tedy při očekávaném nejnižším poměru 0,2. S nejmenší úspěšností volil *Dante* 3 odměny proti 1 a 2 vs. 3, zatímco při obtížněji rozlišitelné volbě 5 odměn versus 4 byl mnohem úspěšnější (graf č. 5D). Výsledky jsou podrobně diskutovány v další kapitole.

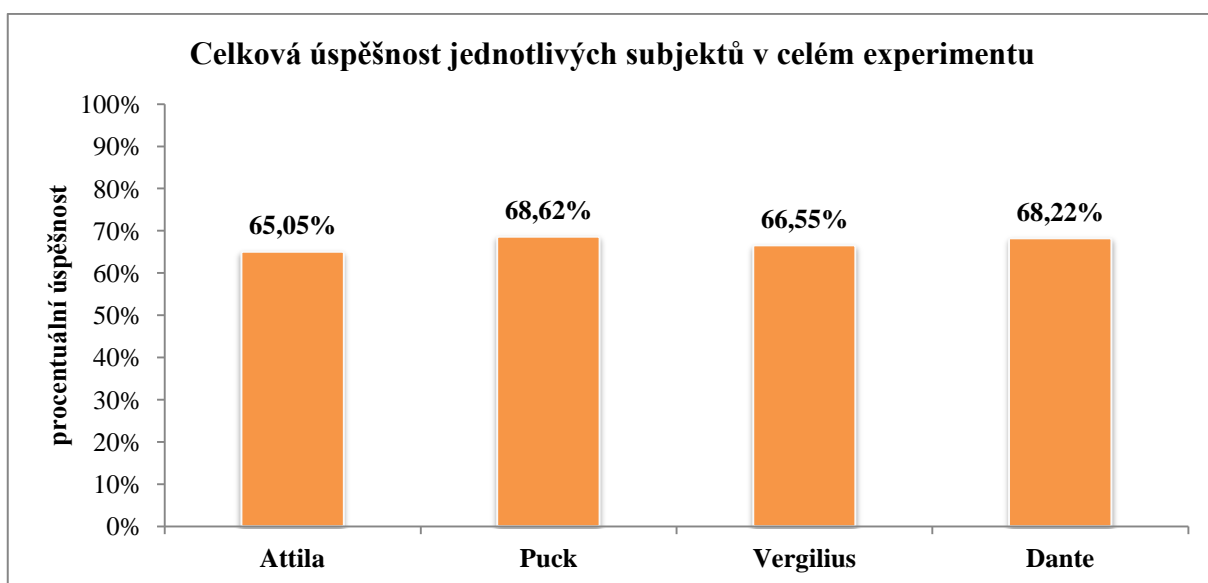


Graf č. 6: Úspěšnost volby všech makaků v jednotlivých poměrech. Na ose x je poměr mezi dvěma hodnotami (např. 3 odměny vs. 5 odměn, tedy poměr 0,6), osa y znázorňuje procentuální úspěšnost.

Podle Webrova zákona by úspěšnost měla klesat spolu se zvětšováním poměru mezi dvěma počty prvků, tzn. při volbě poměru 0,2 by úspěšnost v experimentech měla být největší, zatímco při volbě poměru 4:5 (0,8) by podle zákona měla být úspěšnost nejmenší. Obě tyto zásady jsou ve výsledcích naznačeny (graf č. 6 a č. 7), ačkoliv snižující se úspěšnost není zcela lineární.



Graf č. 7: Porovnání úspěšností všech opic ve všech volených poměrech. Na ose x je poměr mezi dvěma hodnotami, osa y znázorňuje procentuální úspěšnost.



Graf č. 8: Celková úspěšnost každého samce v celém experimentu. Úspěšnost všech makaků ve 118 volbách zjišťujících schopnost rozlišit relativní početnost. Na ose x je testovaný subjekt a na ose y je procentuální úspěšnost v celém experimentu.

Zprůměrovaná úspěšnost všech makaků pro všechny prezentované kategorie ukazuje vyrovnaní výkonu všech makaků v rozlišení relativní početnosti (graf č. 8). V dílčích kategoriích (poměrech) však můžeme pozorovat rozdíly mezi jednotlivými subjekty (graf č. 5).

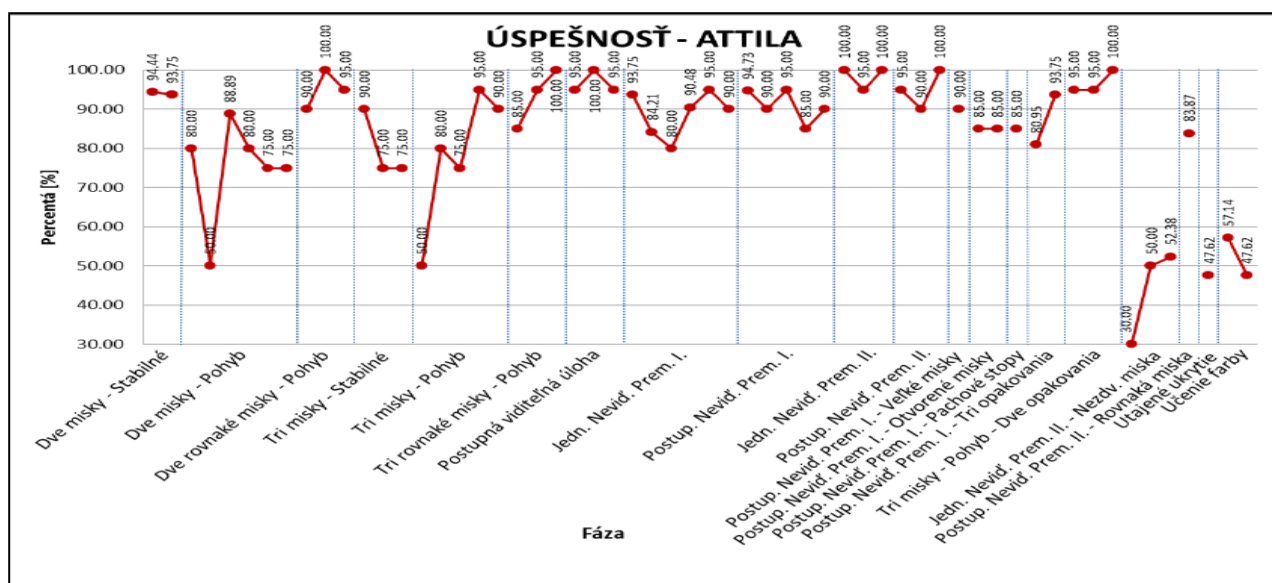
3. 1. 2. 3 DISKUZE (EXPERIMENT 1)

O kompetenci určení relativní početnosti je publikována řada článků popisujících experimenty s různým designem. V některých experimentech vědci používali mimo potravní odměny i nejedlé objekty (Schmitt & Fischer, 2011; Hauser, Carey & Hauser, 2000). Já jsem zvolila reálnou odměnu v podobě preferované odměny, abych zvýšila motivaci makaků k volbě početnějšího množství. Výhoda tohoto designu je, že úloha je pro makaky přirozená a počítá se spontánním výběrem většího množství. Nevýhodou může být, že úloha je závislá na momentální potravní motivaci. Při neúspěchu nemůžeme stoprocentně říct, zda je důvodem selhání kognice nebo nedostatek motivace. Se vzrůstajícím rozdílem mezi sadami navíc nejen vzrůstá míra „kognitivní“ nápovědy (viz. Weberův zákon), ale zároveň i motivace – větší odměna je více motivující. Někteří experimentátoři (Wood a kol., 2008) používali ve svých pokusech jako stimul a zároveň odměnu mrkev, kterou makaci preferovali. Podle mých výsledků potravní preference (graf č. 1) byla mrkev hodnocena jako neatraktivní odměna a makaci v porovnání s mrkví volili raději jablko. Z tohoto důvodu jsem dle svých výsledků použila žádanou odměnu, a tak zamezila situaci, ve které by makaci cíleně volili menší počet odměny, pokud by ji považovali za neatraktivní.

Tato úloha má dva kognitivní atributy, které ovlivňují obtížnost úlohy, a tedy výkon jedinců. Prvním atributem je poměr mezi dvěma sety a druhým je celkový počet prvků v setech.

Autoři článků nepopisují žádný vliv věku, pohlaví nebo hierarchického postavení ve skupině při výběru většího množství odměny, což může být dáno tím, že se opice při testování v jiných experimentech vzájemně neovlivňují a jejich postavení ve skupině není tak jednoznačné jako v případě mnou testovaných samců.

V mých experimentech byl dominantní jedinec *Attila*, s dosud nejvyšším postavením ve skupině, nejméně úspěšný v rozlišení početnějších setů a všeobecně byla jeho úspěšnost mezi jednotlivými volbami velmi kolísavá. Poměr 1:5, zároveň poměr s největším rozdílem lišícím se o 4 prvky, by měl být nejlépe rozlišitelný, a proto jsem očekávala nejvyšší úspěšnost ve volbě většího počtu, tedy volbu 5 položek. Nicméně *Attila* správně volil pouze v 61,50% opakování, což ale byla zároveň i jeho nejnižší úspěšnost ve všech předložených poměrech (graf č. 2 a č. 4). V předchozích experimentech z roku 2014 testujících stálost objektů, *Attila* vykazoval vysokou úspěšnost, kdy dosáhl schopnosti 6. stádia (jednoduchého neviditelného přemístění) stálosti objektu a během celého experimentu dosahoval lepších výsledků než ostatní opice (graf č. 9) (Gálik, 2014). Proto jsem také očekávala vyšší úspěšnost i při této kognitivní úloze.



Graf č. 9: Úspěšnost *Attily* při všech fázích experimentu testujícího stálost objektu (převzato Gálik, 2014).

V experimentu rozlišení relativní početnosti *Attila* pracoval s menší motivací než ostatní samci a nebyl často schopen pečlivě sledovat a následně správně plnit tuto úlohu. Jednou z možností, proč je *Attilova* úspěšnost nižší (graf č. 2.), je i nižší motivace, která může souviset s faktem, že zastává ve skupině samců pozici dominantního jedince, který má neomezený přístup k potravě a získává i více odměn.

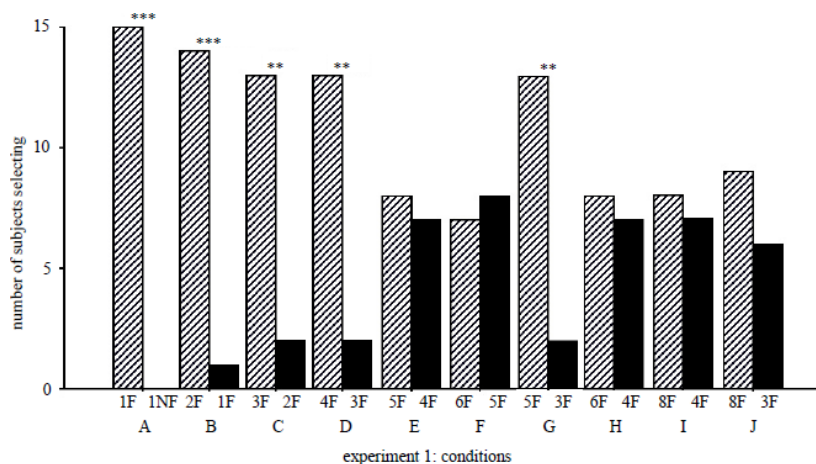
Domnívám se, že dalším faktorem, který ovlivňuje jeho kolísavou úspěšnost, může být

to, že má nižší pozornost, jak se neustále snaží kontrolovat ostatní jedince ve vedlejších voliérách.

Nedokážeme jednoznačně určit, zda opice skutečně považuje za výhodné zvolit větší množství odměny. Je možné, že opice i v případě volby menší odměny stále dokáže rozdíl v množství rozlišit. Při neúspěšné volbě menšího množství si nemůžeme být jisti, zda nedokáže určit větší počet nebo v danou chvíli pouze nemá chuť na větší množství odměny. Podobné výsledky můžeme vidět v experimentech s paviány (Schmitt & Fischer, 2011), kteří byli výrazně úspěšnější v části experimentu s nepotravními stimuly, zatímco s potravními stimuly byla jejich úspěšnost relativně nízká, což můžeme také přičíst neprediktabilní motivaci.

Výsledky makaků *Pucka* a *Danteho* (graf č. 2 a graf č. 4) při testování relativní početnosti ukazují očekávané výsledky, které odpovídají Weberovu zákonu, kdy se se zvyšujícím rozdílem mezi dvěma reálnými počty zvyšuje i množství voleb větší odměny. *Puck* je jako submisivní jedinec, který sdílí voliéru s Attilou, silně motivovaný k výběru většího množství odměny, což bylo patrné i na jeho výsledcích (graf č. 2 a graf č. 4). Během experimentu velmi pečlivě sledoval umístování množství odměn pod oba kalíšky. Výsledky *Vergilia* se jen mírně odchyľují od Weberova zákona (graf č. 2 a graf č. 4), kdy je úspěšnost volby většího množství, s rozdílem dvou odměn mezi položkami nepatrně vyšší než při volbě rozdílu mezi odměnami lišícími se o 3 prvky.

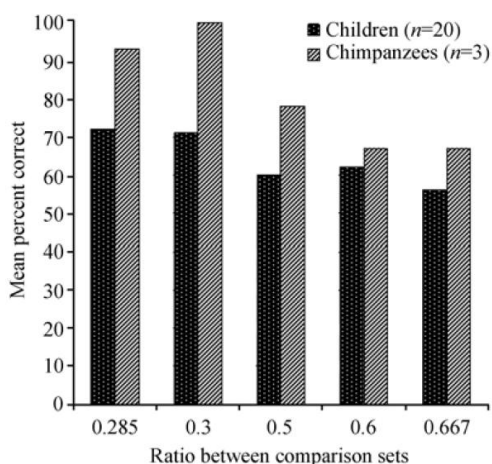
Souhrnné výsledky všech makaků v tomto experimentu naznačují, že úspěšnost skutečně roste spolu se zvyšujícím se rozdílem mezi dvěma sety (graf č. 3). Čím je rozdíl mezi množstvím větší, tím je také výhodnější a snazší volba větší odměny. Se zvětšováním rozdílu se v experimentu zvyšovala pravděpodobnost volby početnějšího setu stejně jako v dalších obdobných experimentech testujících makaky (Hauser, Carey & Hauser, 2000). V těchto experimentech byla u makaků prokázána spontánní reprezentace čísel do počtu 4 položek, dále se jejich volba se zvyšováním počtu položek stala nepředvídatelnou (obrázek č. 23).



Obrázek č. 23: Prezentované poměry v prvním experimentu, "F" = kousky jablek, "NF" = kámen. Opice úspěšně volily větší množství v poměrech A-D a G (Hauser, Carey & Hauser, 2000).

Ve svých výsledcích jsem se také zaměřila na úspěšnost volby v jednotlivých poměrech mezi dvěma sety (graf č. 5, č. 6 a č. 7).

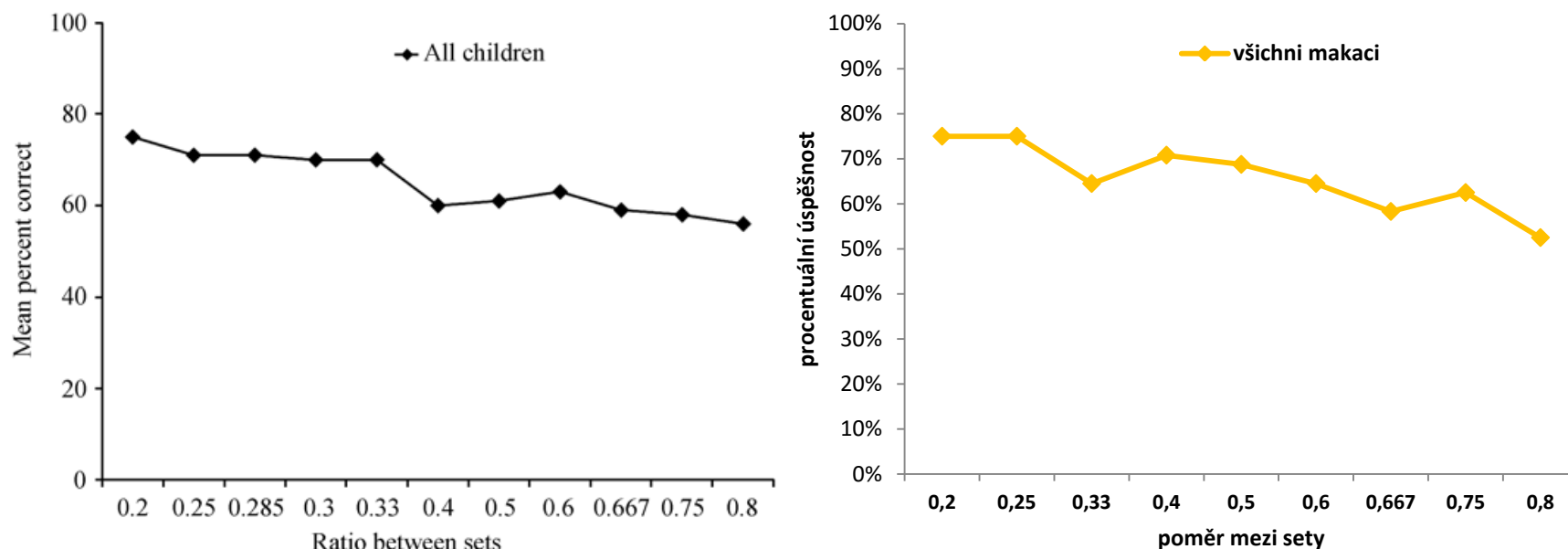
Podle Weberova zákona by měla úspěšnost klesat spolu se zvětšováním poměru mezi dvěma počty odměn (Moyer & Landauer, 1967), tzn. při volbě poměru 0,2 (1:5) by úspěšnost v experimentech měla být nejvyšší, zatímco při volbě poměru 4:5 (0,8) by podle zákona měla být úspěšnost naopak nejnižší. Obě tyto zásady jsou v mých výsledcích viditelné, ačkoliv snižující se úspěšnost není zcela lineární (graf č. 6) jako je tomu v experimentech, ve kterých byli testováni šimpanzi a děti (obrázek č. 24) a výsledky zde více korespondovaly s Weberovým zákonem.



Obrázek č. 24: V pokusech Berana a jeho týmu, bylo prokázáno, že šimpanzi i děti jsou úspěšní v kvantitativní diskriminaci a s větší přesností volí správně větší množství při menším poměru (Beran, Johnson-Pynn & Ready, 2011).

Attila, i přes značné kolísání úspěšnosti v tomto testování, nejúspěšněji volil 3 odměny v předložených poměrech 1:3 v překvapivě 83,33% opakování. Značně neúspěšné byly volby 5 odměn proti menšímu počtu 4, kdy *Attila* dokázal správně rozeznat větší odměnu ve dvou setech lišících se pouze o 1 prvek pouze v 50 % případů. Tento výsledek není překvapivý, obzvláště poté, kdy byl poměr 0,2 (1:5) řešen výběrem 5 položek pouze v 58, 33% případů, ačkoliv je rozdílné množství těchto dvou kvantit nejlépe rozlišitelné (graf č. 5A). *Puck* byl v experimentu při rozlišení relativní početnosti relativně úspěšný. Podíl 0,2 byl podle očekávání řešen nejúspěšněji (83,3%). Ale i nejobtížněji rozlišitelný rozdíl mezi sety 4:5 (0,8), kdy *Puck* volil většinou správně 5 odměn, byl úspěšný v 70%. Při porovnání s obdobným experimentem (Beran, Johnson-Pynn & Ready, 2011), který testoval děti ve věku 4 a 5 let, byl *Puck* v mnoha kategoriích úspěšnější (graf č. 5B) než děti (obrázek č. 25). *Vergilius* často volil správný počet mezi sadami v případě, kdy se oba sety lišily v počtu o dvojnásobek množství (1:2; 2:4). Nejnížší úspěšnost, kterou jsem ale dle Weberova zákona předpokládala, byla při volbě mezi 4 a 5 odměnami, a to pouhých 40% (graf č. 5C). *Dante* byl podle očekávání nejúspěšnější při volbě 1 vs. 5, tedy při volbě nejnižšího poměru 0,2, kdy volil větší počet. Zajímavé ale je, že byl méně úspěšný v prezentaci 1:3, zde byla úspěšnost 33%, což je výrazně nižší úspěšnost než teoretická hladina 50% při náhodné volbě. Nicméně tuto preferenci pro jeden objekt při testování 1 objekt vs. 3 můžeme u tohoto jedince pozorovat i v preferenčním experimentu 2a. Je potřeba zvážit, zda v tomto konkrétním případě nemůžeme tento projev považovat za manifestaci konkrétní preference, nebo zda výsledek ovlivňuje ještě jiný faktor. Při obtížněji rozlišitelném množství dvou setů 5 odměn versus 4 s poměrem 0,8, byl mnohem úspěšnější (graf č. 5D).

Výsledky všech opic popisující úspěšnost v jednotlivých poměrech (graf č. 6) jsem porovnála s výsledky úspěšnosti některých poměrů u šimpanzů (graf č. 24) (viz výše), ale také s úspěšností všech předložených poměrů, které byly prezentovány dětem (obrázek č. 25).



Obrázek č. 25. Porovnání dětí ve věku 4 a 5 let (Beran, Johnson-Pynn & Ready, 2011) s testovanými makaky v mém experimentu. Na ose x je poměr mezi sety a na ose y je procentuální úspěšnost ve výběru většího množství v setu. Poměr 0,285 (2:10) a poměr 0,3 (3:7) byl testován pouze u dětí.

Z těchto porovnávaných grafů je patrné, že u předškolních dětí i makaků úspěšnost v souvislosti s rostoucí obtížností úlohy mírně klesá (obrázek č. 25), je zde vidět lineární tendence u obou druhů. Oba krajní poměry u dětí i makaků jsou řešeny s podobnou mírou úspěšnosti. Tam, kde jsou výsledky rozdílné, může to být způsobeno významně odlišným počtem testovaných subjektů ($n = 20$ u dětí; $n = 4$ u makaků) i designem úlohy.

3. 1. 3 PREFERENCE VELIKOSTI vs. MNOŽSTVÍ

3. 1. 3. 1 OPICE (EXPERIMENT 2a)

3. 1. 3. 1. 1 METODIKA

Subjekty

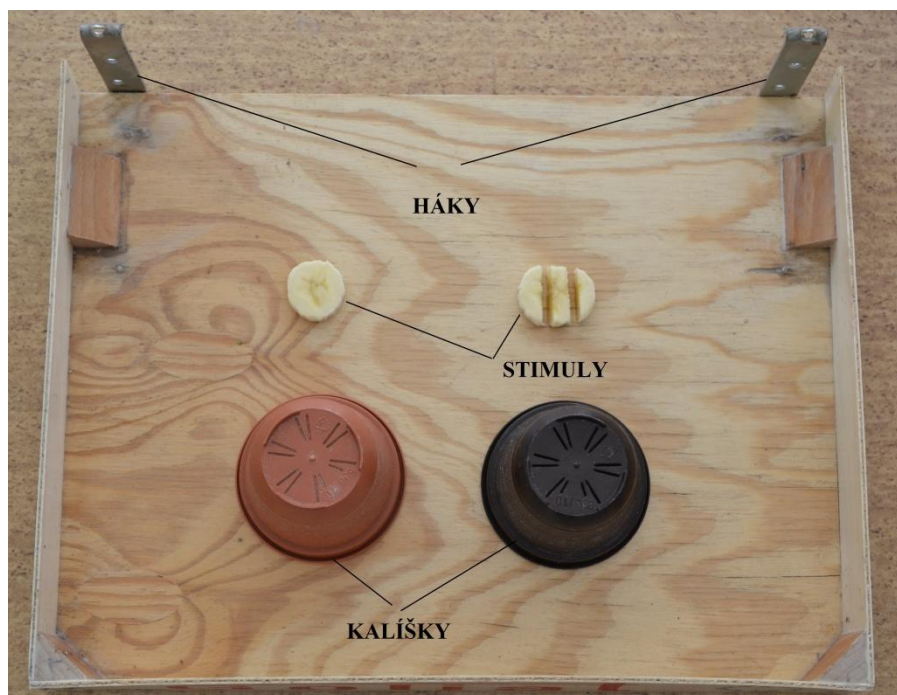
V tomto experimentu byli opět testováni stejní jedinci druhu makak rhesus (*Macaca mulatta*) zmínění již v předchozí metodice. Starším samcům bylo v době tohoto experimentu 15 let, mladším jedincům bylo 7 let.

Experiment byl prováděn na stejném místě a za totožných podmínek, jaké byly v předchozích experimentech s relativní početností.

Během zimních měsíců roku 2015 se mezi mladšími samci začala vytvářet přísná hierarchie. Docházelo mezi nimi k potyčkám a museli být odděleni, protože jejich boje byly příliš vyrovnané a mohlo by dojít ke zranění. Dante, ačkoliv jsme ho původně považovali za submisivnějšího z obou jedinců, byl pravděpodobně iniciátor konfliktů. I přes mříže voliéry vždy seděl Vergiliovi co nejbližší a neustále ho sledoval, na což Vergilius reagoval zvýšenou nervozitou.

Aparatura

Pro tento experiment jsem použila stejnou aparaturu, jakou jsem popsala v předchozí kapitole č. 3. 1. 2. 1. Potravní odměny byly ukrývány pod kalíšky totožné jako v první úloze, provedení experimentu i záznam výsledků probíhal obdobně.



Obrázek č. 26: Aparatura zvolená pro testování preference velikosti nebo množství s příkladem (1 kus vs. 3 kousky).

Behaviorální procedura

Experiment pro zjištění preference velikosti nebo množství objektů probíhal od října 2015 do července 2016. Každé sezení probíhalo v jeden den nejčastěji se všemi jedinci, vždy v pořadí: Dante, Attila, Vergilius, Puck. Nejprve jsem testovala dominantnější samce, aby později nenarušovali experiment Vergilia a Pucka. Danteho jsem během pokusu s Vergiliem musela „zaměstnávat“ rozhozením hrsti burisonů na dno jeho voliéry, které potom během pokusu s Vergiliem sbíral. Vergilius je v takovou chvíli klidnější a lépe spolupracuje.

Experiment se stával ze 45 sezení po 5 opakováních pro každého samce. Testování jsem rozdělila do čtyř fází:

1. fáze (1 vs. 2–5)

Předložila jsem jeden kus potravy na jednu stranu aparatury a dva až pět kusů stejné potravy a stejného celkového objemu (tabulka č. 3), v rozestupu 2-3 mm na druhou stranu.

Přikryla jsem oba počty odměn kalíšky a přisunula k makakovi na dosah, čímž jsem mu umožnila manipulaci a výběr.

	1	2	3	4	5
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓				
3	✓				
4	✓				
5	✓				

Tabulka č. 3: Prezentované množství kousků odměny.

2. fáze (2 vs. 3 – 5; 2 sym. vs. 2 asym.)

V této fázi jsem nabídla opici na výběr mezi dvěma kousky potravy versus třemi až pěti kousky stejné potravy (tabulka č. 4). Do této fáze jsem zahrнула i výběr mezi dvěma kousky asymetrickými a dvěma kousky symetrickými (tabulka č. 4 a č. 6), abych zjistila, zda tento rozdíl ovlivní rozhodnutí testované opice. Obě možné volby, stejně jako v předchozí fázi, však nabízely celkově stejně velkou odměnu, která se lišila jen počtem kousků a velikostí.

	2	2a	2s	3	4	5
2	✓			✓	✓	✓
2a			✓			
2s		✓				
3	✓					
4	✓					
5	✓					





Tabulka č. 4: Prezentované množství kousků odměny (2s = 2 symetrické kousky; 2a = 2 nesymetrické kousky).

3. fáze (1 vs. 2 – 5; 2 vs. 3 – 5; 2 sym. vs. 2 asym.)

Zahrnovala metodiku ze dvou předchozích fází, ale zvětšila jsem rozestup mezi jednotlivými kousky z 2–3 mm na 5–6 mm. Prezentovala jsem opicím jeden až dva kousky versus dva až pět kusů (tabulka č. 5) včetně zařazení dvou symetrických a dvou nesymetrických kousků (tabulka č. 6).

	1	2	2a	2s	3	4	5
1	✓	✓			✓	✓	✓
2	✓	✓			✓	✓	✓
2a				✓			
2s			✓				
3	✓	✓					
4	✓	✓					
5	✓	✓					

Tabulka č. 5: Prezentované množství kousků odměny (2s = 2 symetrické kousky; 2a = 2 nesymetrické kousky).

		
		✓
	✓	

Tabulka č. 6: Ukázka prezentovaných setů 2 symetrických (2s) a 2 nesymetrických kousků (2a).

4. fáze (1 vs. 2; 1 vs. 3; 1 vs. 2 + 1; 1 vs. 2 – 1; 1 vs. 3 + 1; 1 vs. 3 – 1)

Tato fáze již vyžadovala vyšší zapojení kognitivních schopností opic. Zatímco v předchozích fázích experimentu 2a kterákoliv volba přinášela stejnou hodnotu potravy, v tomto případě tomu tak nebylo. Úspěšný výsledek zde již nezaručilo pouhé odhadování počtu, neboť i méně kusů odměny mohlo znamenat získání většího množství potravy (větší celkový objem). K poměrům 1 versus 2 nebo 3 jsem totiž přidala i obtížnější poměry (tabulka č. 7.), jako například 1 kus versus stejně velký kus, který jsem ale před samotným experimentem rozdělila na dvě stejné části a jednu část jsem odebrala (1 vs. 2 – 1) a takto prezentovala opicím. Vznikla tedy možnost vybrat si 1 celý kus potravy nebo $\frac{1}{2}$ kusu. Analogicky tomu bylo při prezentaci 1 kusu vs. 3 – 1, kdy jsem předložila 1 celý kus versus $\frac{2}{3}$ kusu. Zařadila jsem zde také poměry jako 1 vs. 2 + 1 nebo 1 vs. 3 + 1. V těchto případech jsem k odměně rozdělené na 2 nebo i 3 kousky přidala další $\frac{1}{2}$ (1 vs. $\frac{3}{2}$) nebo $\frac{1}{3}$ (1 vs. $\frac{4}{3}$), což by pro opice po následné prezentaci mělo být atraktivnější než 1 celý kus (tabulka č. 8.).

	1	2	3	2+1/2	2-1/2	3+1/3	3-1/3
1		✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓						
3	✓						
2+1/2	✓						
2-1/2	✓						
3+1/3	✓						
3-1/3	✓						

Tabulka č. 7: Prezentované množství kousků odměny.

	●	◐	◑	◒	◓	◔	◕
●		✓	✓	✓	✓	✓	✓
◐	✓						
◑	✓						
◒	✓						
◓	✓						
◔	✓						
◕	✓						

Tabulka č. 8: Prezentované množství kousků odměny.

Počet kousků a jejich velikost byly vždy náhodně prostrídány na levé i pravé straně, pod kalíšky obou barev, což bylo zaneseno do tabulek záznamového archu již před započítáním experimentů.

Na začátku každé prezentace (opakování) jsem opicím předložila dvě sady objektů o různém počtu kusů a tedy zároveň i jiné velikosti zastoupené plochy. Poté kdy se opice dívala na oba stimuly, jsem je zakryla kalíšky a přisunula blíže k okraji aparatury, aby s nimi opice mohla manipulovat. Po zvolení kalíšku jsem stejně jako u předchozího experimentu použila signál zvonku a rychle jsem odstranila druhý kalíšek s potravou z dosahu testovaného samce.

Statistická analýza

Data byla na konci všech experimentů zpracována statistickým programem R pomocí marginálního modelu GLM s funkcí `geeglm` pro binomické rozdělení s faktorem individuálního jedince a s opakováním.

3. 1. 3. 1. 2 VÝSLEDKY (EXPERIMENT 2a)

V experimentu 2a, který se skládal ze 4 fází (viz metodika) jsem každému ze samců prezentovala 200x dvojice setů stimulů, které se skládaly z různých poměrů potravních odměn (1:2–5; 2:3–5; 2asym:2 sym; $1:2 \pm \frac{1}{2}$; $1:3 \pm \frac{1}{3}$). Jako kontrolu jsem použila sety stejného množství (např. 3:3), abych mohla sledovat případnou preferenci a opakování volby jedné strany, případně barvy kalíšků. Tyto kontroly jsem nezařadila do statistického zpracování.

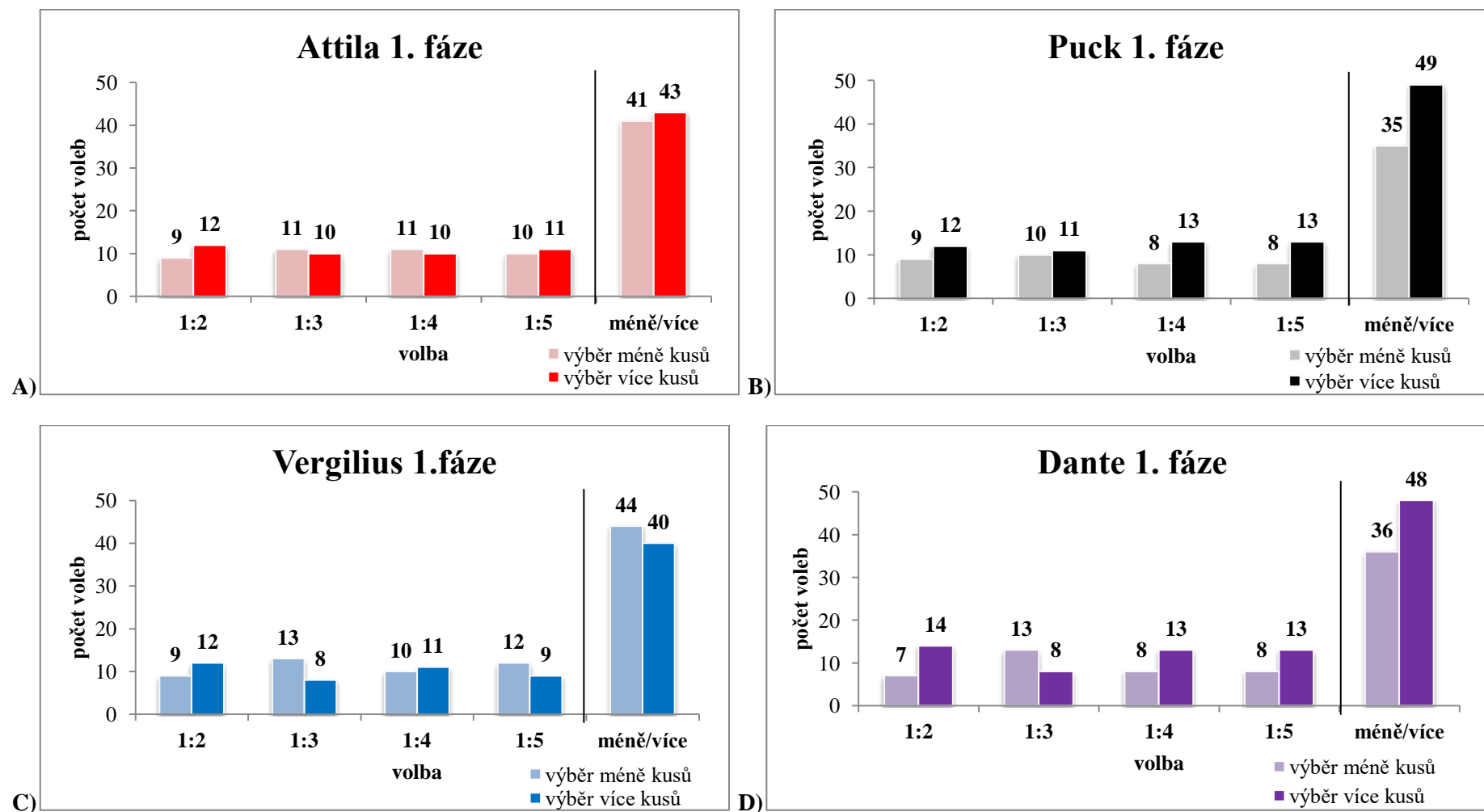
Během pokusů jsem sledovala, zda makaci preferují objem (velikost) stimulu nebo počet, tedy zda preferují větší počet menších kousků nebo naopak menší počet větších kusů. Sledovaný parametr byl v tomto případě počet voleb menšího a většího počtu kusů během všech 40 sezení, tedy poměr voleb menšího či většího počtu vůči všem volbám v dané kategorii.

Z těchto dat jsem hodnotila kritéria:

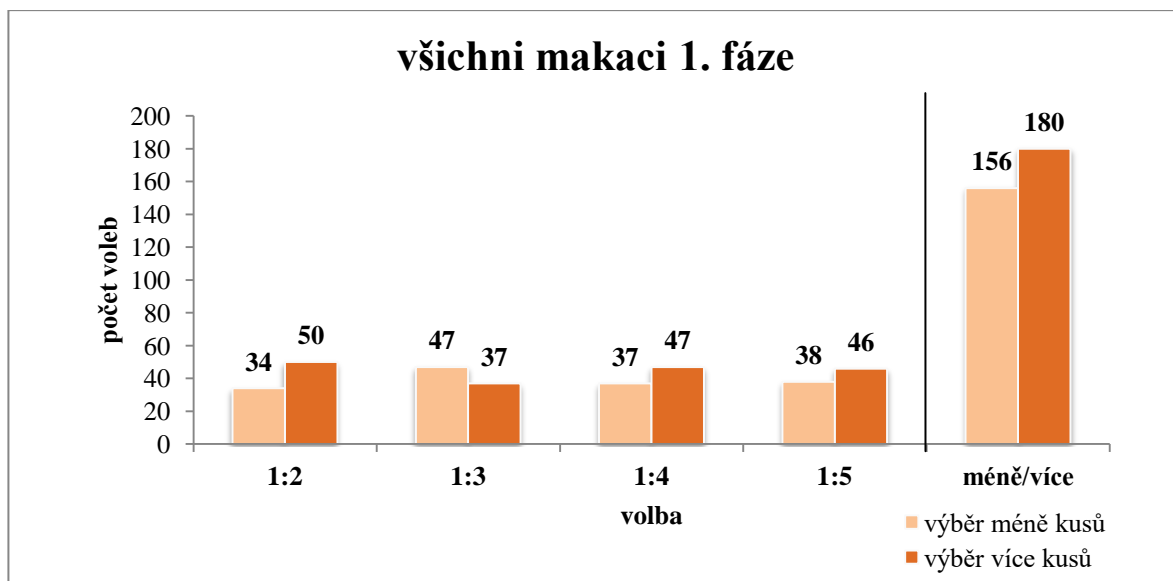
1. počet voleb menšího nebo většího počtu kousků pro každý poměr zvlášť a následně pro všechny poměry každé fáze experimentu dohromady
2. počet voleb jednoho ze dvou stejných poměrů, které se liší pouze asymetrií rozdělených částí (2 asym. vs. 2 sym.)

Výsledky jsou prezentovány pro každého makaka zvlášť (graf č. 10, č. 12, č. 14, č. 16, č. 17, č. 18, č. 20 a č. 21) i pro všechny opice dohromady (graf č. 11, č. 13, č. 15, č. 16, č. 17, č. 19, č. 20 a č. 21). Preference všech subjektů se často velmi lišila, což mohla zapříčinit jejich personalita a pozice v hierarchii, jejich stáří či zkušenost z předchozích experimentů.

1. FÁZE



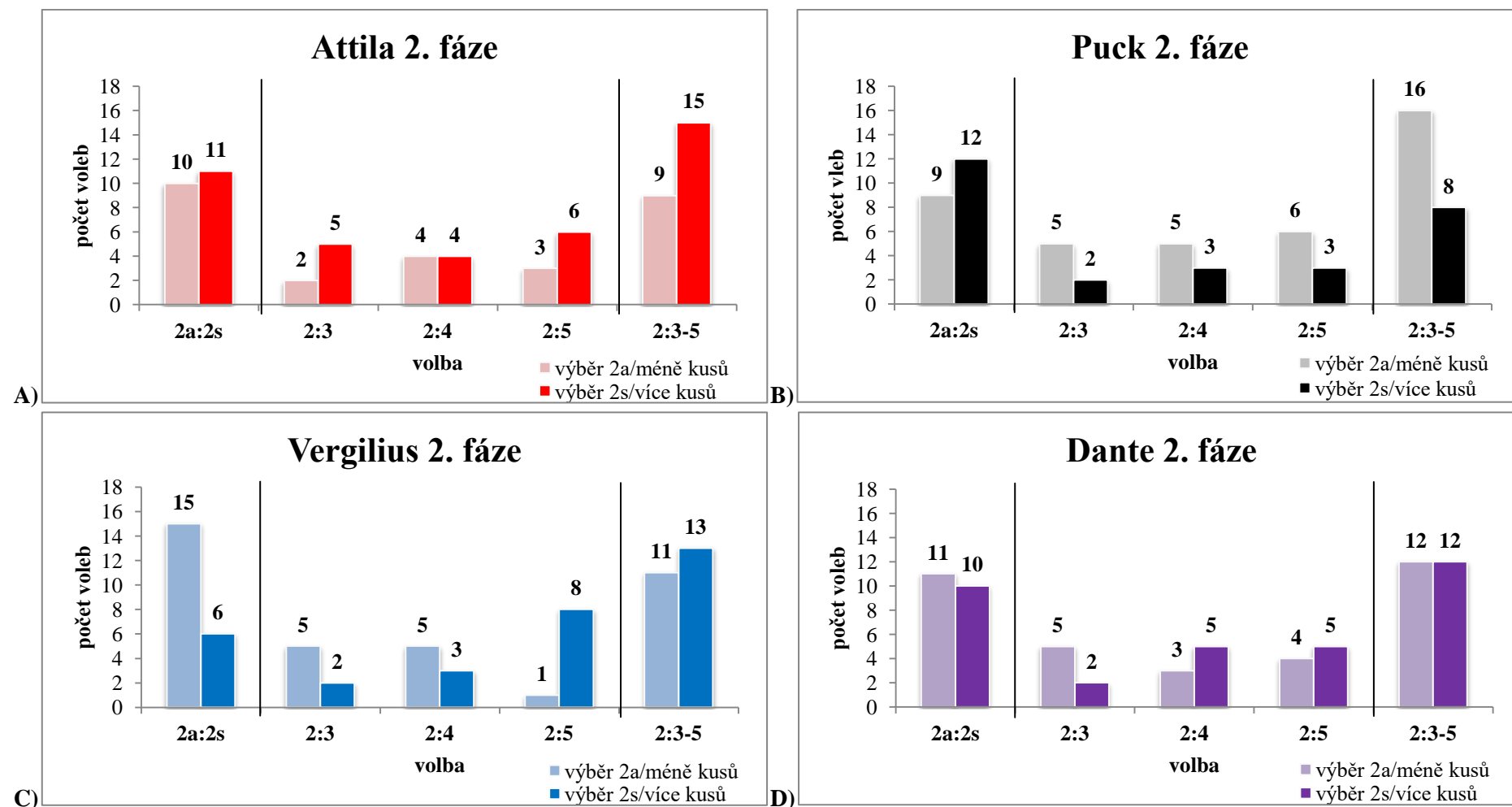
Graf č. 10 A – D: Počet voleb pro jednotlivé poměry a pro všechny poměry v 1. fázi experimentu. Na ose x je konkrétní *poměr* dvou množství a osa y je četnost voleb počtu kousků.



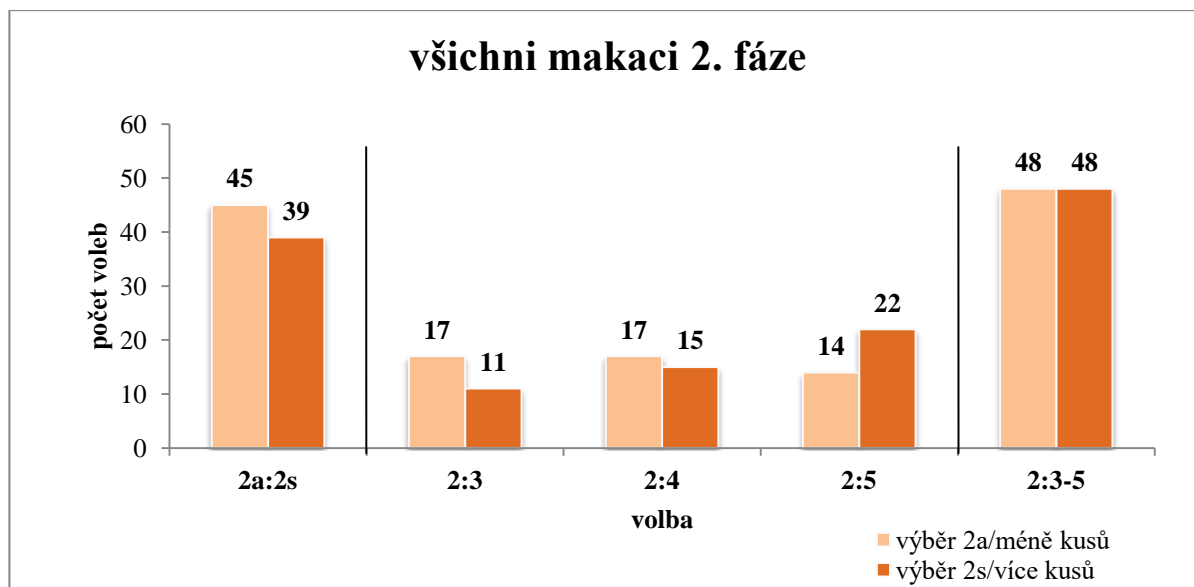
Graf č. 11: Počet voleb pro jednotlivé poměry a pro všechny poměry v 1. fázi experimentu u všech samců. Na ose x je konkrétní poměr jednotlivých množství a osa y je četnost voleb počtu kousků.

V této první fázi měli makaci v některých poměrech mírnou tendenci volit větší počet kousků (graf č. 11), což se neprokázalo jako signifikantní (test binomického rozdělení, $p = 0,2095$).

2. FÁZE



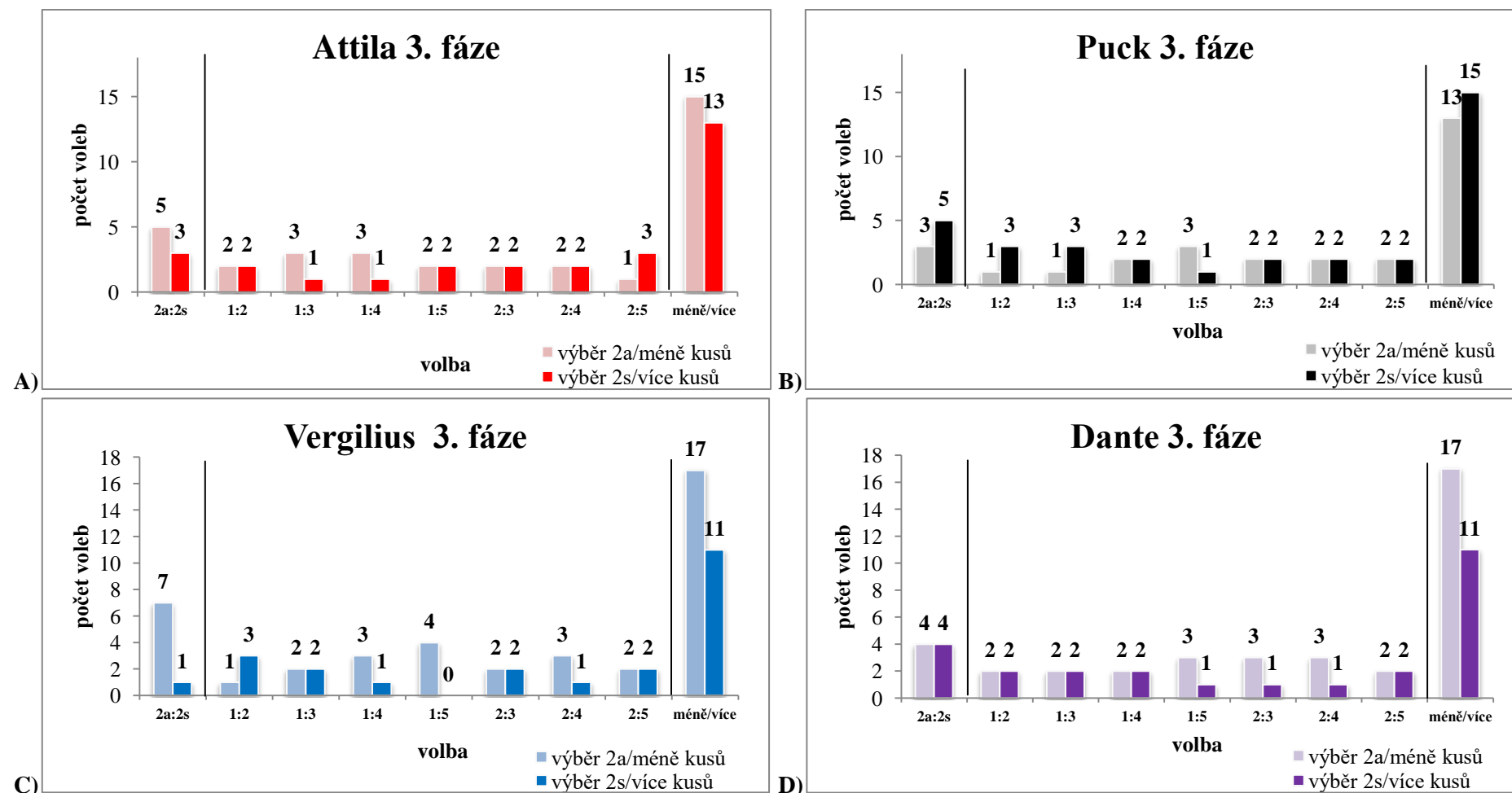
Graf č. 12 A – D: Počet voleb pro jednotlivé poměry a pro všechny poměry ve 2. fázi experimentu. Na ose x je konkrétní *poměr* jednotlivých množství a osa y je *četnost voleb*. V grafu je zanesena i preference dvou asymetrických kousků (2a) a preference dvou symetrických kousků (2s).



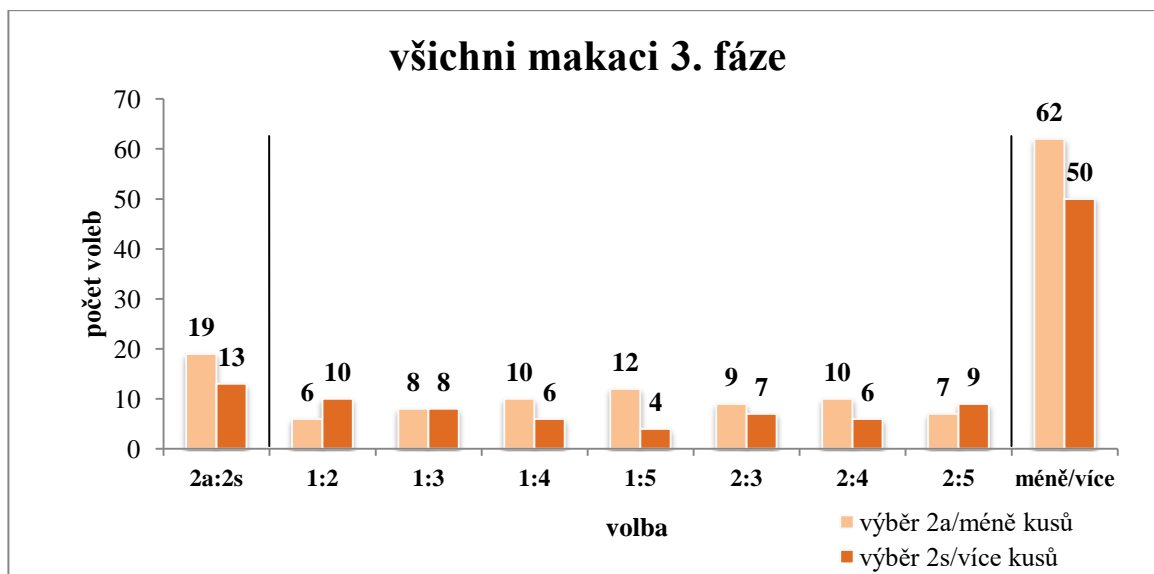
Graf č. 13: Počet voleb množství kousků pro jednotlivé poměry a pro všechny poměry ve 2. fázi experimentu u všech samců. Na ose **x** je konkrétní *poměr* dvou množství a osa **y** je *četnost voleb* počtu kousků. V grafu je zanesena i preference dvou asymetrických kousků (2a) a preference dvou symetrických kousků (2s).

Ve druhé fázi volili samci počet kousků zcela náhodně (test binomického rozdělení, $p = 1$). Při výběru asymetrických kousků nebyla také vidět žádná preference, stejně jako ve výběru symetrických kousků (test binomického rozdělení, $p = 0,5856$) (graf č. 13).

3. FÁZE

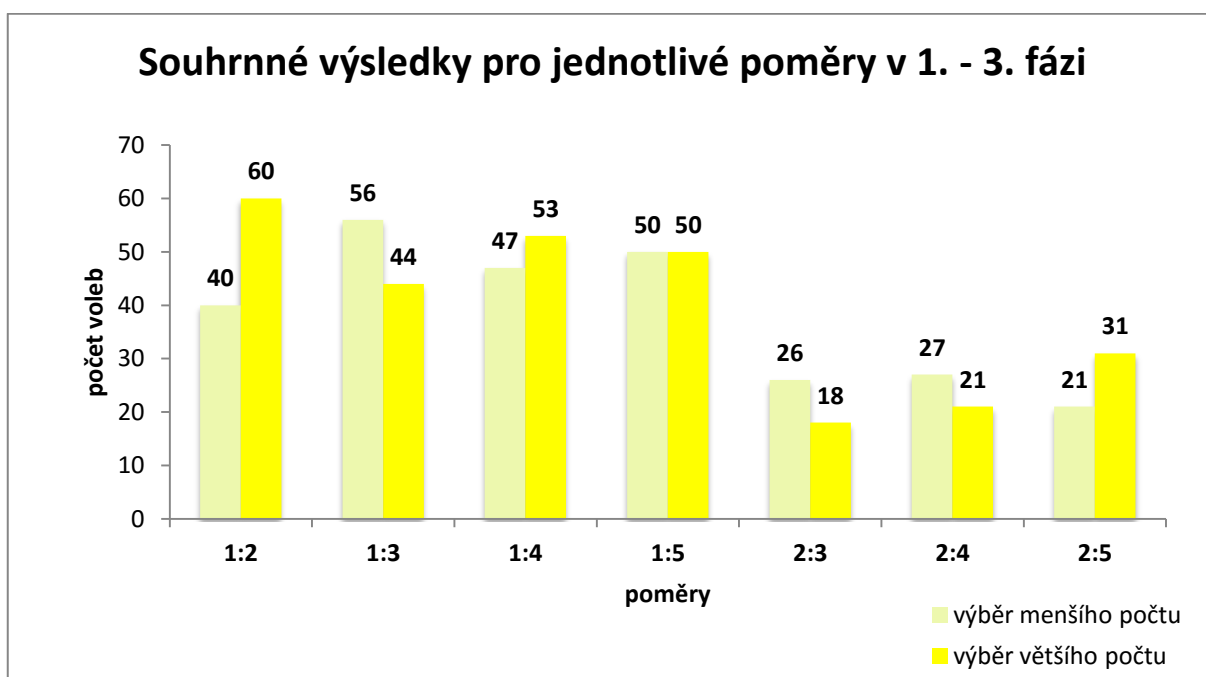


Graf č. 14 A – D: Počet voleb množství kousků pro jednotlivé poměry a pro všechny poměry ve 3. fázi experimentu. Na ose x je konkrétní *poměr* dvou množství a osa y je *četnost voleb* počtu kousků. V grafu je zanesena i preference dvou asymetrických kousků (2a) a preference dvou symetrických kousků (2s).



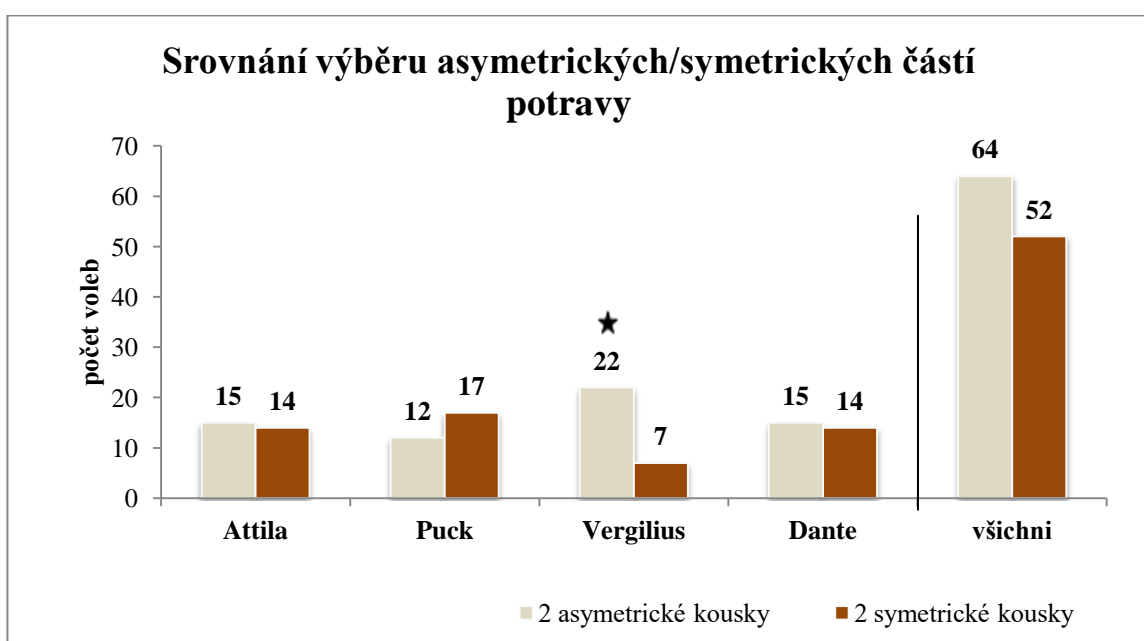
Graf č. 15: Počet voleb pro jednotlivé poměry a celkové volby ve 3. fázi experimentu u všech samců. Na ose *x* je konkrétní *poměr* dvou množství a osa *y* je *četnost voleb* konkrétních množství kousků. V grafu je zanesena i preference dvou asymetrických kousků (2a) a preference dvou symetrických kousků (2s).

Ve třetí fázi volili jedinci množství kousků také víceméně náhodně (test binomického rozdělení, $p = 0.2986$) a při výběru asymetrických kousků opět neexistovala žádná preference kousků (test binomického rozdělení, $p = 0,3771$) (graf č. 15).



Graf č. 16: Souhrnné výsledky pro jednotlivé poměry v 1. - 3. fázi preferenčního experimentu u všech makaků. Na ose *x* je konkrétní *poměr* dvou množství a osa *y* je *četnost voleb* konkrétních množství kousků.

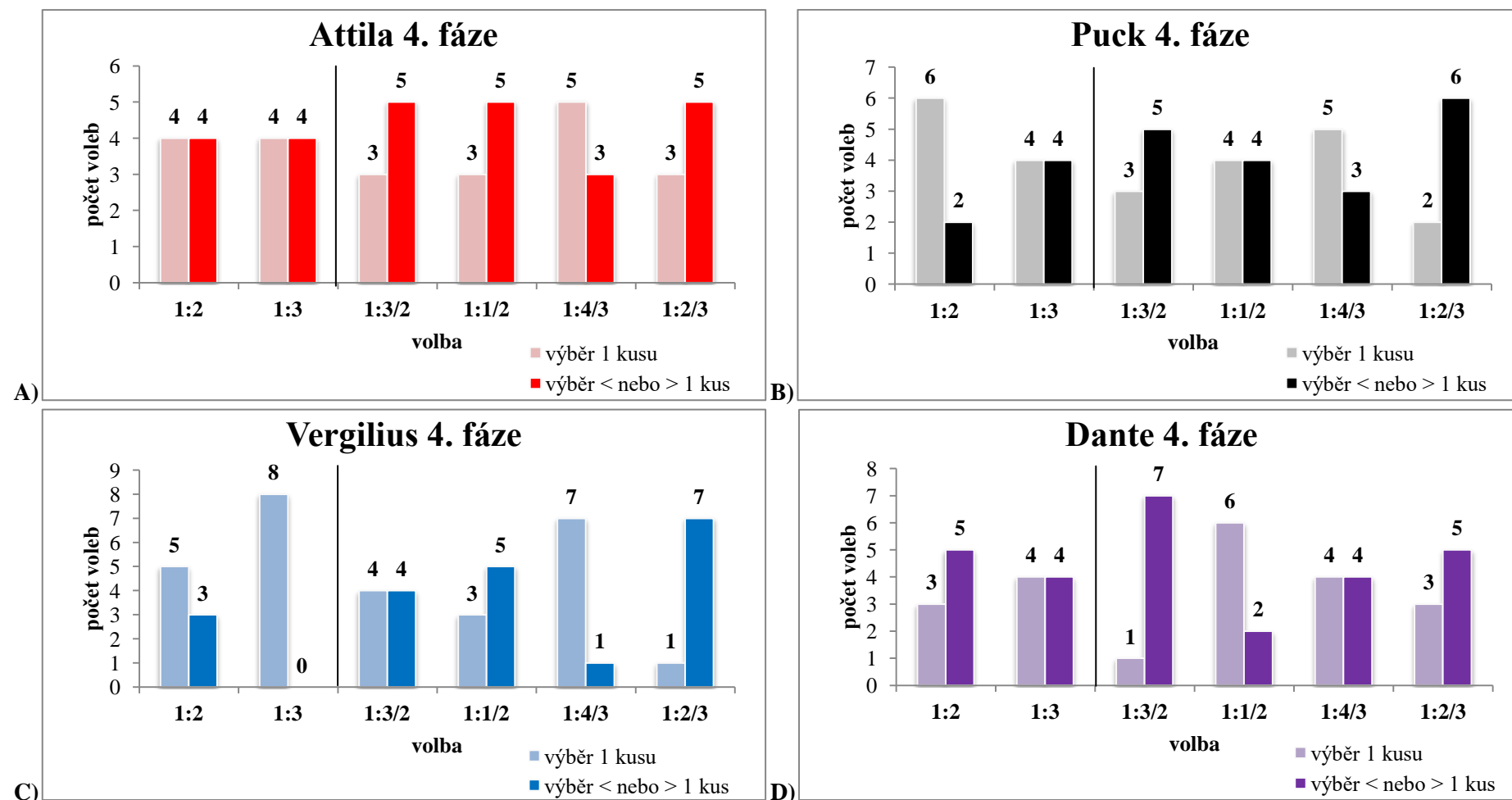
Prezentace souhrnných výsledků 1. až 3. fáze a statistickém vyhodnocení (graf č. 16) ukázala, že v první a druhé fázi existuje signifikantní rozdíl ve volbě v poměru 1:2, kde jedinci volí spíše dva kousky, proti volbám v některých jiných poměrech, kde měli naopak tendenci volit méně kousků: 1:3 (geeglm, $df = 1$, $\chi^2 = 17,18$; $p = 3,4 \times 10^{-5}$), 2:3 (geeglm, $df = 1$, $\chi^2 = 4,25$; $p = 0,039$) a 2:4 (geeglm, $df = 1$, $\chi^2 = 5,15$; $p = 0,023$). Ve třetí fázi se od volby v poměru 1:2, kdy opět volili spíše dva kusy, lišily poměry 1:4 (geeglm, $df = 6$, $\chi^2 = 4,99$; $p = 0,025$) a 1:5 (geeglm, $df = 6$, $\chi^2 = 5,62$; $p = 0,18$). V těchto poměrech častěji volili menší počet kousků.



Graf č. 17: Porovnání výběru jednotlivých makaků mezi dvěma symetrickými a dvěma nesymetrickými částmi. Na ose **x** jsou testovaní jedinci a na ose **y** je počet voleb.

Výsledky grafu č. 17 ukazují, že volba dvou kousků, rozdělených na dvě asymetrické části v jednom setu nebo na dvě symetrické části ve druhém setu, se signifikantně nelišila od situace, kdy by opice volily náhodně (test binomického rozdělení, $p = 0,3071$). Pouze *Vergilius*, v porovnání s ostatními jedinci, měl velkou tendenci volit asymetricky velké kousky potravy (test binomického rozdělení, $p = 0,00813$).

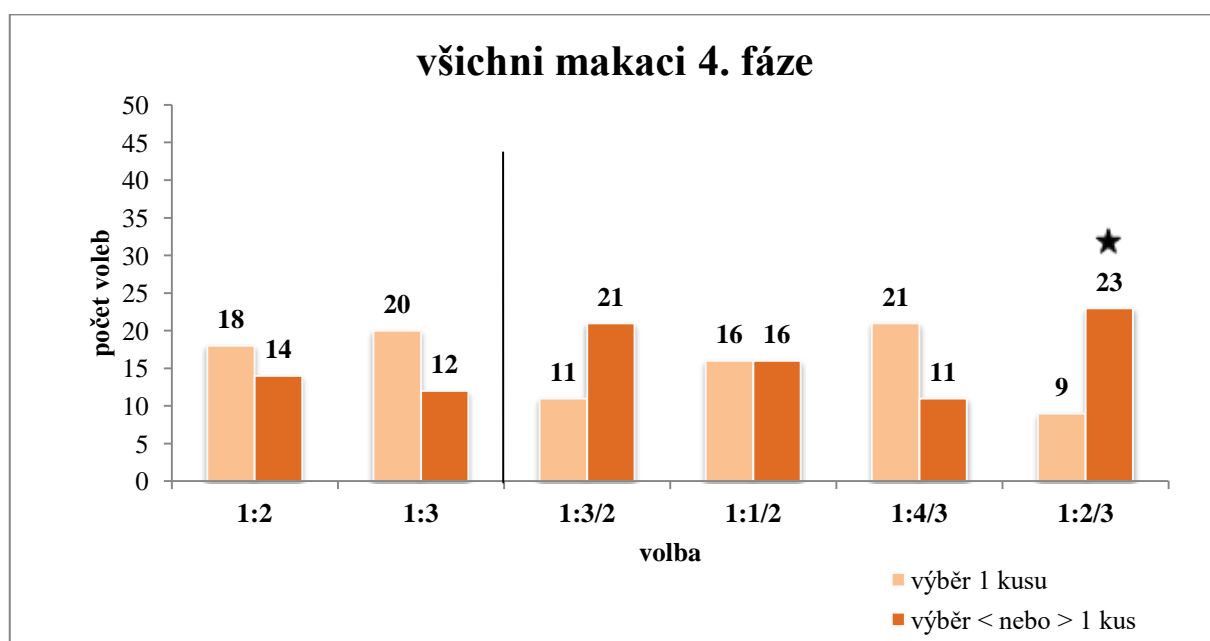
4. FÁZE



Graf č. 18 A – D: Počet voleb pro jednotlivé poměry a celková volba ve 4. fázi experimentu. Na ose x je konkrétní poměr dvou množství a osa y je četnost voleb počtu kousků. V této fázi byly i zařazeny i složitější úlohy v podobě prezentovaných poměrů: 1 vs. 3 - 1 = $(1 : \frac{2}{3})$; 1 vs. 2 - 1 = $(1 : \frac{1}{2})$; 1 vs. 3 + 1 = $(1 : \frac{4}{3})$; 1 vs. 2 + 1 = $(1 : \frac{3}{2})$.

V grafech č. 18-21 můžeme mimo jiné vidět i řešení složitějších kognitivních úloh, kde jsou makakům předloženy dvě sady, ve kterých je na jedné straně setu odebrána nebo přidána $\frac{1}{2}$ nebo $\frac{1}{3}$ kousku, která velikostí odpovídá ostatním kouskům, tak jak byly stimuly původně rozděleny, a které jsou v běžném poměru prezentovány.

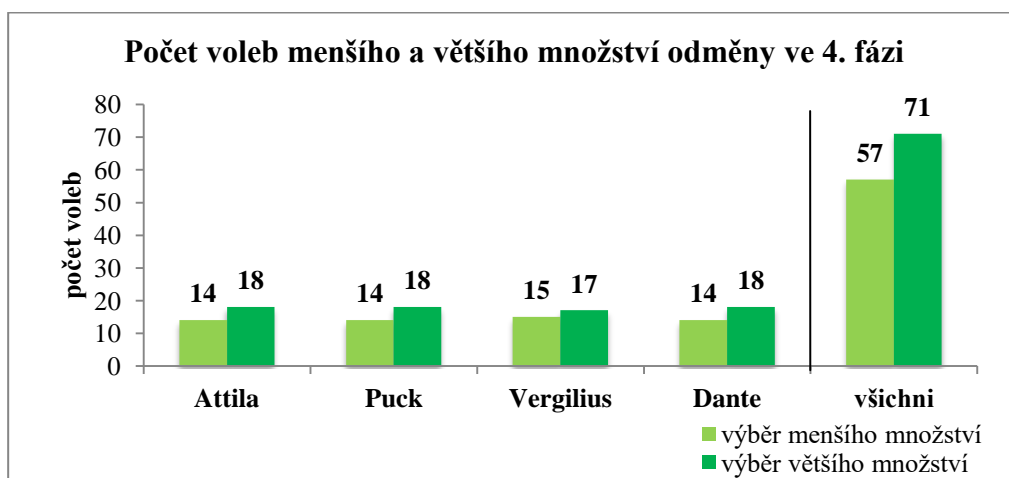
Z grafu č. 18 je patrné, že opice nedokázaly vyřešit tuto složitější úlohu a volily často spíše menší množství odměny. Opice byly nejúspěšnější ve výběru v poměru $1:\frac{3}{2}$, ve kterém volily spíše větší množství, tedy $\frac{3}{2}$. Pouze *Vergilius* volil v tomto poměru zcela náhodně, zatímco *Dante* jen v jednom případě zvolil menší množství odměny a byl také v celé kognitivní části experimentu nejúspěšnější.



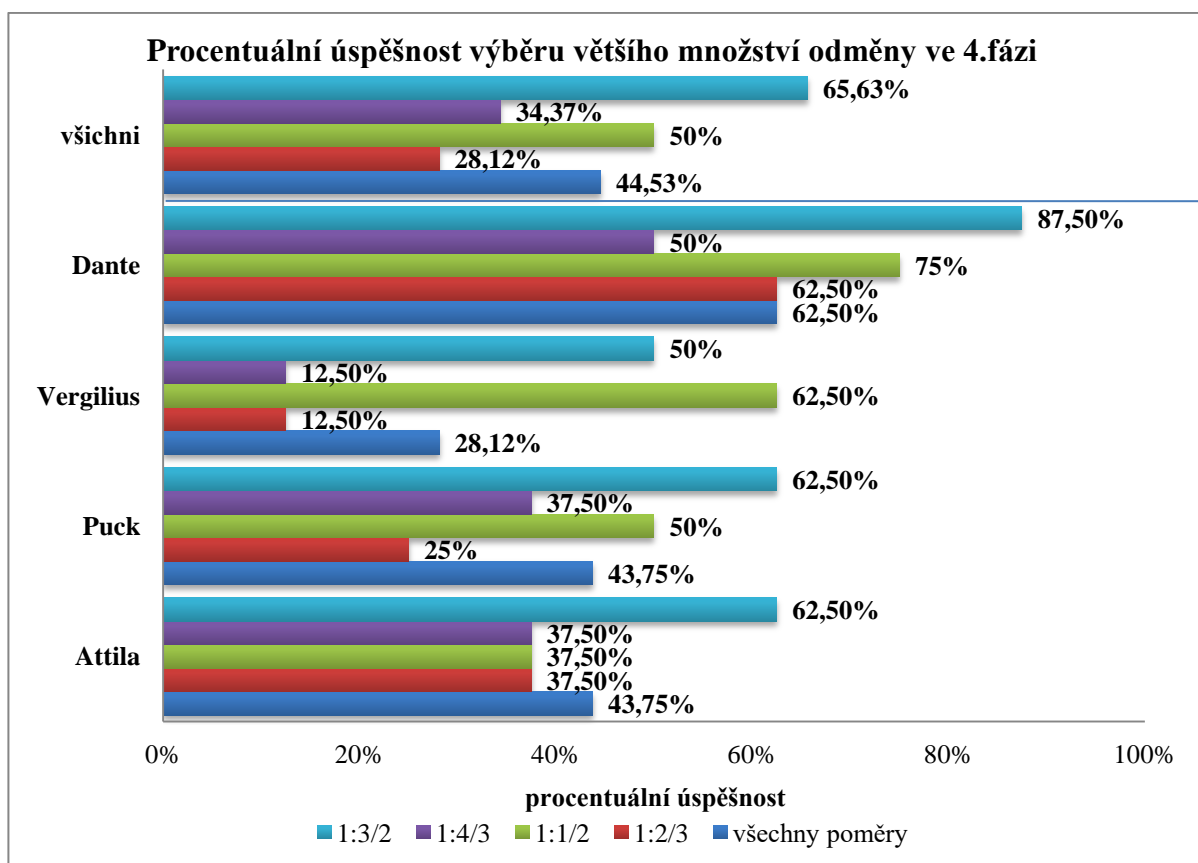
Graf č. 19: Počet voleb pro jednotlivé poměry a celkové volby ve 4. fázi experimentu u všech samců. Na ose x je konkrétní *poměr* dvou množství a osa y je *četnost voleb* počtu kousků. V této fázi byly i zařazeny i kognitivně složitější úlohy v podobě prezentovaných poměrů: **1 vs. 3 - 1** = $(1:\frac{2}{3})$; **1 vs. 2 - 1** = $(1:\frac{1}{2})$; **1 vs. 3 + 1** = $(1:\frac{4}{3})$; **1 vs. 2 + 1** = $(1:\frac{3}{2})$.

V grafu č. 19 můžeme vidět, že při volbě v poměru $1:\frac{2}{3}$ byl u opic signifikantní rozdíl ve výběru menšího celkového množství odměny než většího množství odměny (test binomického rozdělení, $p = 0,02006$), což ale byla zároveň i špatná volba (z hlediska možnosti získat větší množství potravy).

Souhrnný graf č. 20 ukazuje celkovou úspěšnost všech makaků ve všech čtyřech poměrech kognitivní části. Úspěšnost byla celkově velmi nízká, protože opice volily častěji menší množství odměny a jejich volba byla spíše náhodná.



Graf č. 20: Počet voleb menšího nebo většího celkového množství odměny během kognitivní části 4. fáze. Na ose x jsou testované subjekty a na ose y počet voleb. Počet většího množství znamená větší množství odměny (a tedy určitou „racionální“ volbu), bez ohledu na to, kolik kousků odměny bylo předloženo.



Graf č. 21: Procentuální úspěšnost výběru většího množství odměny ve 4. fázi. Na ose x jsou testované subjekty a na ose y je procentuální úspěšnost výběru většího počtu kousků. V poměru 1 vs. 3 - 1 a 1 vs. 2 - 1 je výběr 1 celého kousku výhodnější a naopak v poměrech 1 vs. 3 + 1 a 1 vs. 2 + 1 je výběr rozdělených částí ten správný a výhodný.

3. 1. 3. 2 DĚTI (EXPERIMENT 2b)

3. 1. 3. 2. 1 METODIKA

Subjekty

Během tohoto experimentu jsme ověřovali preferenci množství nebo velikosti u 21 dětí, kdy nejmladšímu dítěti byly 2 roky a nejstaršímu 6 let. Veškerá testování jsem prováděla v Rodinné školce Velíček v Praze - Zbraslav a v Mateřské škole v Praze - Koloděje. Současně s tímto experimentem jsme děti testovali i v jiných úlohách sociální kognice, paměti a preference barev.

Veškeré experimenty byly schváleny etickou komisí Národního ústavu duševního zdraví. Rodiče testovaných dětí podepsali informovaný souhlas. Děti se účastnily dobrovolně, experiment byl přerušen vždy, když děti projevily přání nepokračovat.

Aparatura

Pro experiment jsem používala dvě sady barevných talířů šesti barev o průměru 19 cm, čímž jsem získala šest dvojic talířů různých barev. Pro jednu expozici jsem vždy předložila dva talířky stejné barvy. Z dietetických a zdravotních důvodů jsem dětem nechtěla předkládat sladkosti, proto jsem jako objekty a zároveň odměnu pro testování použila stejně nakrájená kolečka okurky, kterou měla většina dětí velmi ráda. Pouze u jednoho chlapce jsem prezentovala kousky jablka. Průběh všech opakování byl zaznamenáván do předem připravených tabulek se jménem, věkem dítěte a datem obou sezení. Samotný počet kousků a strana, na které byly talířky s určitým počtem kousků prezentovány, byla znáhodněna (obrázek č. 27).



Obrázek č. 27: Předkládané talířky stejné barvy s různým počtem a tedy i velikostí kousků okurky.

Behaviorální procedura

Testování ve školce Velíček probíhalo v období od března do dubna 2016 a experimenty ve druhé školce v Kolodějích jsem prováděla od dubna do června 2016.

Experiment se skládal ze 2 sezení po 3 opakováních. U dětí jsem nemohla zvolit vyšší počet sezení kvůli časovým důvodům a kvůli motivaci dětí. Testování každého dítěte probíhalo ve dvou dnech. Dítěti byly v průběhu tří hodin, během kterých bylo testováno v kognitivních experimentech, předloženy tři dvojice talířků stejné barvy s kousky okurky. Kousky byly předloženy v poměrech 1 vs. 2; 1 vs. 3 a 2 vs. 3 (tabulka č. 9).

	1	2	3
1		✓	✓
2	✓		✓
3	✓	✓	

Tabulka č. 9: Prezentované množství kousků odměny.

Dítě nebylo instruováno pro určitou volbu, byla mu pouze nabídnuta možnost vzít si jeden talířek a sníst zeleninu, která na něm byla (obrázek č. 28). Protože děti okurku preferovaly, předpokládala jsem, že budou spontánně volit možnost (set), která se jim bude jevit jako objemnější, přestože je reálně v obou volbách stejné množství okurky. Každé dítě bylo během všech našich experimentů odměňováno různými samolepkami.



Obrázek č. 28: Dítě si vybírá jeden s talířků se třemi kousky okurky.

Statistická analýza

Data byla na konci všech experimentů zpracována statistickým programem R pomocí marginálního modelu GLM s funkcí `geeglm` pro binomické rozdělení s faktorem individuálního jedince a s opakováním.

3. 1. 3. 2. 2 VÝSLEDKY (EXPERIMENT 2b)

Během tohoto experimentu 2b jsem testovala 29 dětí, ale pouze 21 dětí absolvovalo celé dvoudenní testování po třech opakováních. Výsledky ostatních dětí, které se nezúčastnily všech 6 opakování, jsem vyřadila ze statistického zpracování dat.

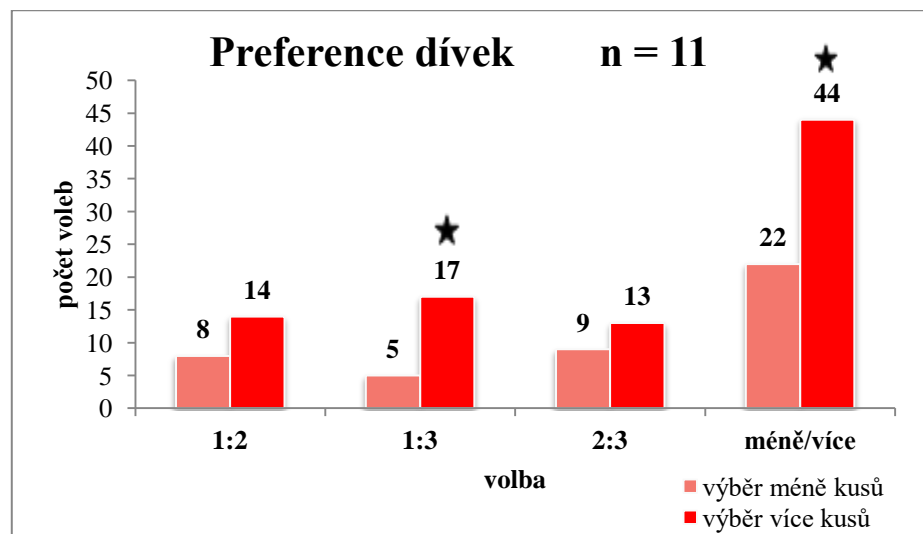
Obdobně jako v 1. a 2. části experimentu 2a preference velikosti nebo množství u opic jsem i dětem předkládala poměry 1:2; 1:3 a 2:3 v podobě stejně velkých koleček nakrájené okurky. Sledovala jsem, zda děti mají preferenci pro velikost nebo pro množství, tedy zda preferují menší počet větších kousků nebo větší počet menších kousků. Děti nebyly instruovány k výběru daného počtu kousků, ale předpokládala jsem, že budou volit větší množství. Jako parametr preference jsem použila počet voleb více či méně kousků u každého z předložených poměrů.

Ze zpracovaných dat jsem vyhodnotila parametr:

1. preference menšího nebo většího počtu kousků shodných v celkovém objemu, ale lišícím se v počtu kousků

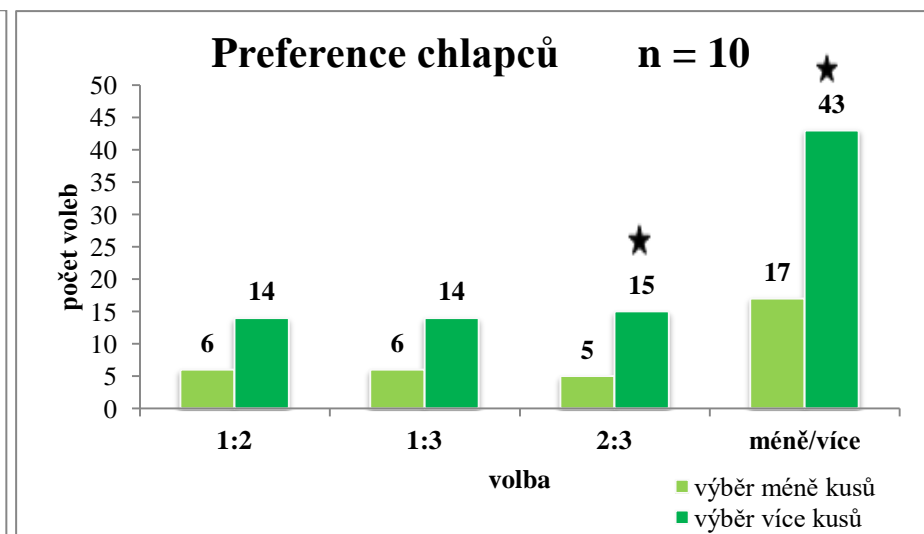
Porovnala jsem preferenci množství nebo velikosti u dětí a makaků ve stejných poměrech, které jim byly předloženy. Výsledky jsem zanesla do grafů pro každou věkovou skupinu dětí (graf č. 22 a č. 23), pro pohlaví dětí (graf č. 24) a pro všechny děti obou pohlaví a všech věkových kategorií (graf č 26).

Vliv pohlaví na preferenci pro velikost nebo množství kousků odměny



Graf č. 22: Preference velikosti nebo množství u všech dívek.

Na ose x jsou poměry kousků. Na ose y je počet voleb.

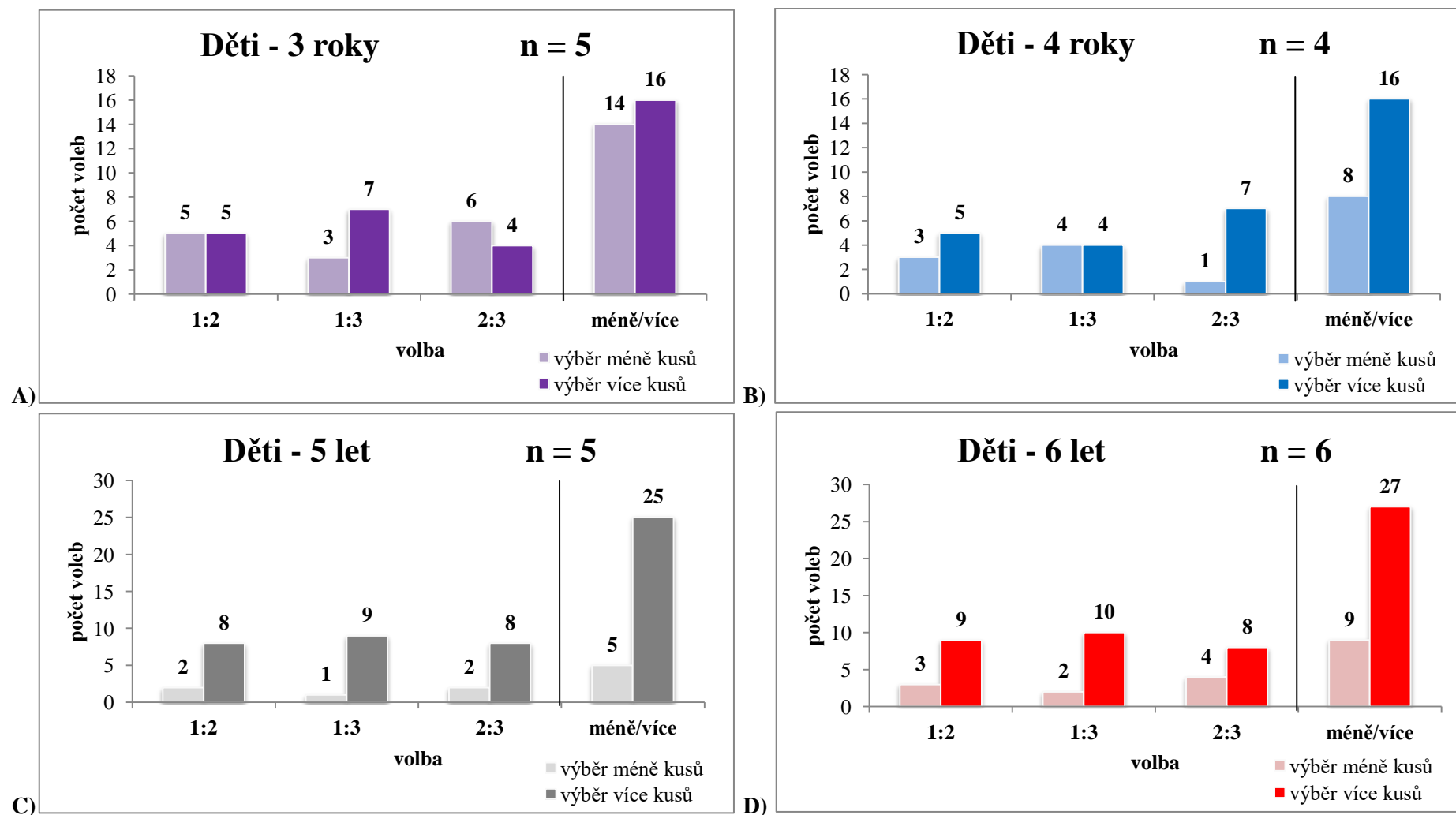


Graf č. 23: Preference velikosti nebo množství u všech chlapců.

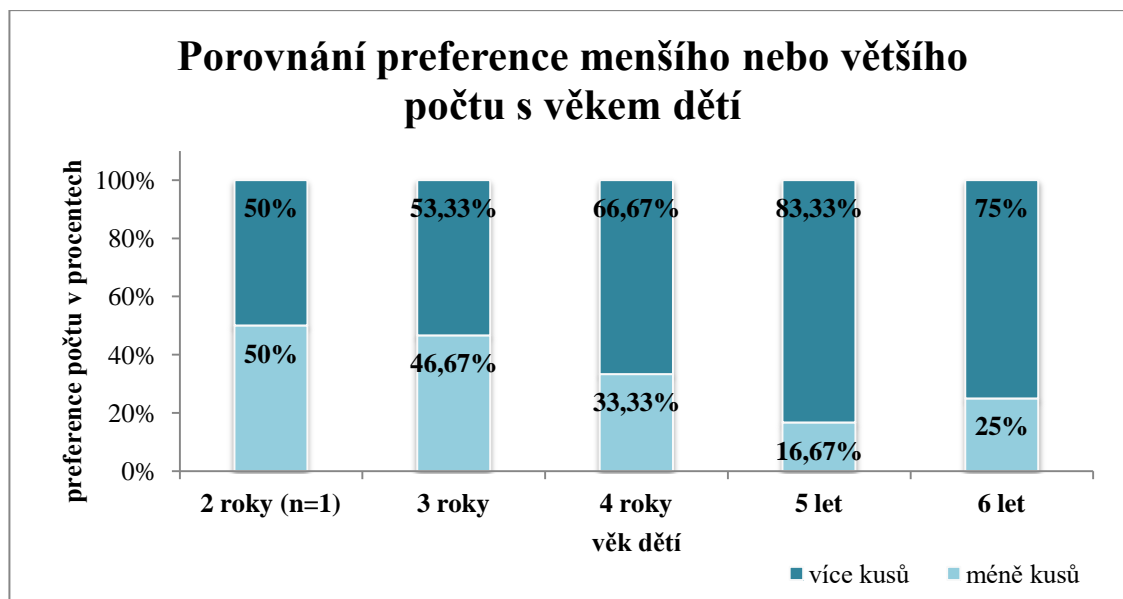
Na ose x jsou poměry kousků. Na ose y je počet voleb.

Grafy č. 22 a č. 23 ukazují, že pohlaví dětí nemá vliv při volbě početnějšího množství kousků (geeglm, $df = 1$, $\chi^2 = 0,170$; $p = 0,68$). Je zde ale patrný signifikantní rozdíl ve volbách *dívek* při prezentovaném poměru 1:3 (preferují větší počet kousků) (test binomického rozdělení, $p = 0,0169$), stejně jako u *chlapců* při poměru 2:3 (test binomického rozdělení, $p = 0,04139$). Zároveň obě pohlaví volí signifikantně častěji větší množství kousků: *dívky* (test binomického rozdělení, $p = 0,00921$) a *chlapci* (test binomického rozdělení, $p = 0,001066$).

Vliv věku na preferenci pro velikost nebo množství kousků odměny



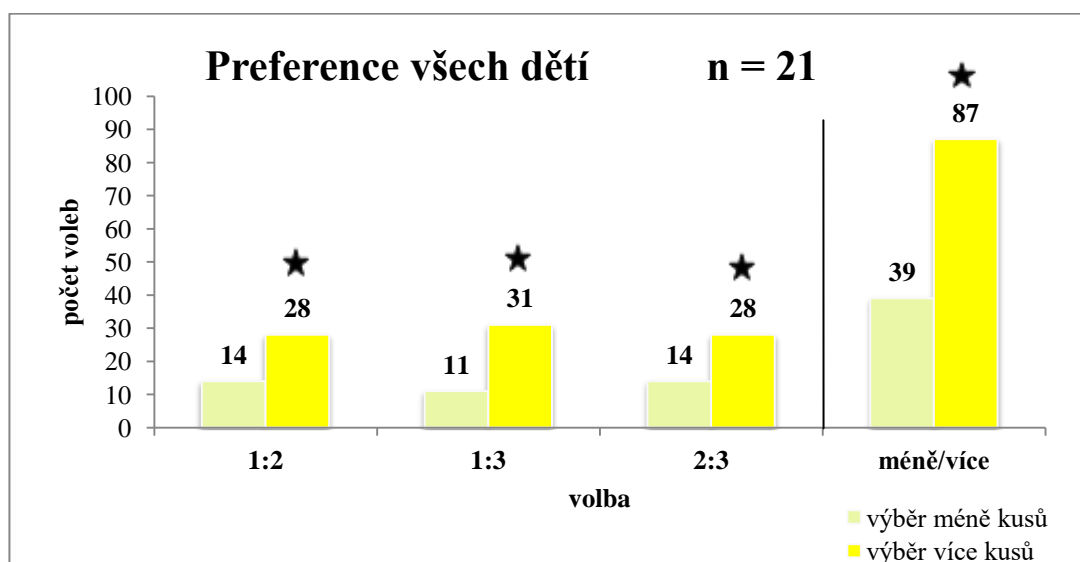
Graf č. 24 A – D: **Preference velikosti nebo množství u dětí u jednotlivých věkových kategorií.** Na ose x jsou *poměry kousků*. Na ose y je *počet voleb*. Dvouleté dítě bylo pouze jedno, data nejsou prezentována.



Graf č. 25: Srovnání preference většího počtu kousků v závislosti na věku dětí. Na ose x je věk dětí a na ose y preference menšího a většího počtu kousků.

Graf č. 24 a č. 25 ukazují preferenci většího počtu menších kousků mírně stoupající spolu s věkem dítěte, což ale nebylo statisticky potvrzeno jako signifikantní (geeglm, $df = 1$, $\chi^2 = 2,365$; $p = 0,12$).

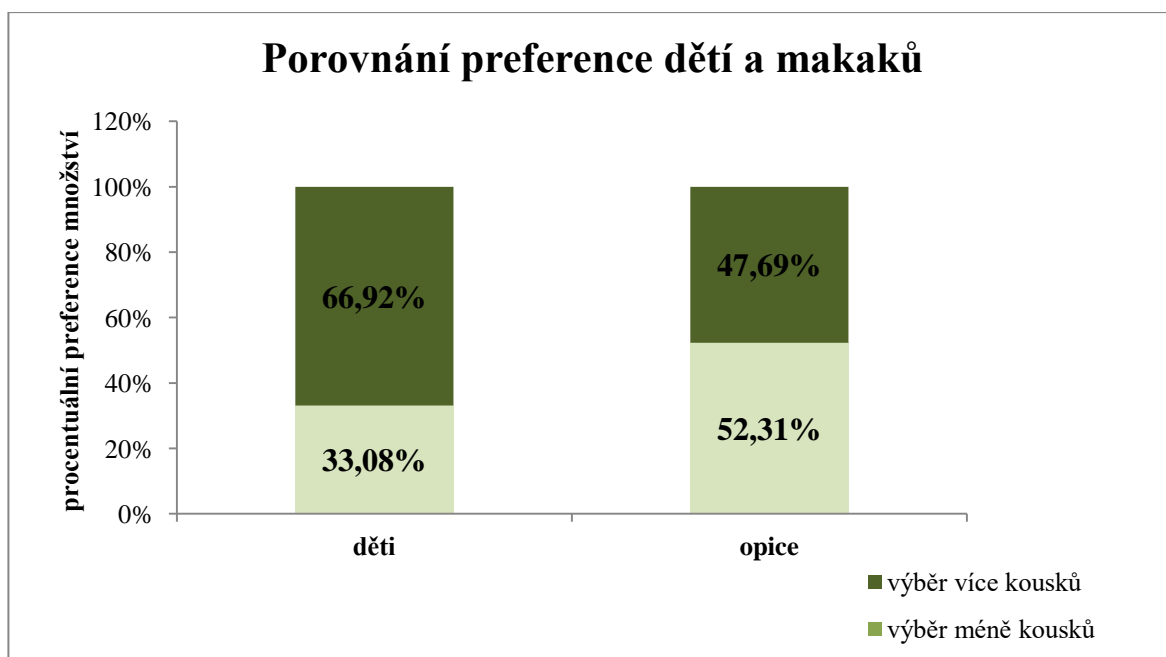
Preference dětí pro velikost nebo množství kousků odměny



Graf č. 26: Preference velikosti nebo množství u všech 21 dětí. Na ose x jsou předložené poměry kousků, obě sady jsou stejně objemné, liší se jen počtem kousků. Na ose y je počet voleb, který udává počet zvolení konkrétního počtu kousků. Preference většího počtu kousků je dvojnásobně vyšší než výběr menšího počtu větších kusů.

Preference *děti* není závislá na jejich věku ani pohlaví, ale výsledky ukazují, že všechny dosud testované děti volí signifikantně častěji více kousků než méně (graf č. 26), i když je objem stejný (test binomického rozdělení, $p = 2,282 \cdot 10^{-5}$). V souhrnných výsledcích všech dětí můžeme také vidět preferenci většího množství v konkrétních poměrech se signifikantním rozdílem: 1:2 (test binomického rozdělení, $p = 0,04356$), 1:3 (test binomického rozdělení, $p = 0,002887$) a 2:3 (test binomického rozdělení, $p = 0,04356$).

Porovnání preference dětí a opic pro velikost nebo množství kousků odměny



Graf č. 27: Porovnání preference menšího nebo většího počtu kousků odměny o stejném objemu v experimentech se shodně předloženými poměry (1:2; 1:3; 2:3). Na ose *x* jsou *testované subjekty* a na ose *y* *preference kousků v procentuálním zastoupení*.

Děti spíše preferují větší počet menších kousků odměny, na rozdíl od *makaků*, kteří volí náhodně (graf č. 27).

Tato data jsem mezi sebou porovnávala s plným vědomím toho, že metodika experimentů je různá. Jsem si vědoma, že oba tyto experimenty jsou limitovány: u makaků počtem jedinců a u dětí počtem jedinců i počtem opakování. Trend, který moje experimenty ukázaly, by z těchto důvodů bylo zajímavé ověřit dalšími experimenty s větším počtem testovaných subjektů.

3. 1. 3. 2. 3 DISKUZE (EXPERIMENT 2a, 2b)

Řada prací se v rámci studia numerických kompetencí zabývala i schopností rozpoznat zachování množství („conservation of quantity“). Tyto schopnosti byly studovány i u zvířat, obzvlášť na ploskonosých opicích (Beran, 2008; Czerny & Thomas, 1975), úzkonosých opicích (Beran, 2007) a hominidech (Call & Rochat, 1996; Woodruff, Premack & Kennel, 1978; Sophian, 1995). Nejznámější jsou Piagetovy dětské experimenty s transformací řad (Piaget, 1952). Všechny tyto experimenty zjišťovaly, zda testovaný jedinec rozpozná transformaci stejně početné řady objektů (člověk, makak, malpa), stejný objem kelímků (kotul) nebo stejné množství tekutiny ve sklenicích (šimpanz, orangutan).

V této části své práce jsem nesledovala, zda makaci rozpoznají stejný objem dvou setů nebo zda budou preferovat větší počet či velikost odměny. Sledovala jsem preferenci menšího počtu větších kousků nebo většího počtu menších kousků odměny. Pokud je mi známo, experimenty, které by se zabývaly podobnou otázkou u makaků a měly obdobný design, zatím nebyly publikovány.

Během těchto experimentů s makaky bylo velice obtížné udržet jejich pozornost, protože nebyli motivováni tím, že mohou zvolit větší množství odměny. Oproti tomu v předchozím experimentu, který byl zaměřen na testování jejich kognitivních schopností („úloha se správným řešením“), projevovali tendenci získat větší množství potravy. V tomto experimentu bylo celkové množství v obou setech vyrovnané, proto se jednalo o úlohu bez objektivního řešení (alespoň co se týče množství potravy, kterou mohou získat). Testovala jsem, zda neexistuje nějaká další preference pro určitý počet či počet vs. velikost, která by mohla ovlivnit i výsledky více „kognitivních“ experimentů (relativní početnost). Pozornost makaků byla z těchto důvodů nižší než při testování relativní početnosti a také rychleji klesala v čase. Proto jsem již od začátku experimentů prezentovala poloviční počet opakování v jeden den, než tomu bylo u relativní početnosti, abych prezentací příliš mnoha poměrů tuto pozornost ještě nesnížila.

V *první fázi* experimentu jsem chtěla zjistit, zda budou opice volit kalíšek s jedním celistvým kusem nebo kalíšek, který skrývá kus rozdělený na více částí. I když oba sety poskytovaly stejné množství odměny a v tomto ohledu tedy neexistovala „racionální“ (výhodná volba) mohli jsme předpokládat, že makaci zvolí jeden kus, se kterým je jednodušší a rychlejší manipulace. Nicméně opice, které jsem testovala, jsou již z mnoha předchozích

experimentů zvyklé na postup, ve kterém pokud zvolí více položek, všechny také získají a nebude jim bráněno sahat pro zvolené objekty opakovaně. Preference pro jeden kus se skutečně neprokázala. Podle výsledků makaci spíše volili větší počet kousků než jeden, pouze při volbě jednoho kusu a kusu rozděleného na tři části volili jeden celistvý kus (graf č. 10). *Vergilius* všeobecně volil spíše jeden kus než několik kousků (graf č. 10C). Důvodem mohlo být větší množství příliš malých dílků, což se mu mohlo zdát méně atraktivní než jeden velký kus.

Ve *druhé fázi* jsem znesnadnila reprezentaci volby. Na jedné straně byl vždy kus rozkrojený na 2 části a na druhé straně kus rozkrojený na 3, 4 nebo 5 částí. Podle grafu č. 12 makaci volili častěji 2 části v případě, kdy si měli zvolit mezi těmito 2 a 3 nebo 4 rozdělenými kousky. Při volbě v poměru 2:5 jedinci spíše preferovali větší počet kousků a volili kus rozdělený na pět dílků. Tento trend byl nejvíce patrný u *Vergilia*, zatímco *Puck* preferoval naopak méně kousků a to v celé druhé fázi.

V této a další fázi jsem se také zabývala otázkou, zda jsou opice ovlivněny *symetrií* dílků, tedy zda budou volit symetrické nebo nesymetrické kousky potravy rozdělené na dvě části. Ve druhé fázi i ve fázi 3, ve které byl pouze zvětšen rozestup mezi dílky, jsem nepozorovala žádnou tendenci ve volbě dvou asymetricky rozkrojených částí. Tyto dvě fáze jsem tedy sloučila do jednoho grafu (graf č. 17), kde je u *Vergilia* vidět možná tendence k volbě asymetricky rozdělené potravy, zatímco ostatní jedinci volili spíše náhodně. Je možné, že *Vergilius* volil asymetrické díly pro násobně větší kus na jedné straně sady.

Ve *třetí fázi* jsem zahrnula všechny doposud testované poměry, změnila jsem prostorové uspořádání - zvětšila jsem rozestupy mezi rozkrojenými dílky. I po této změně měli makaci, stejně jako v první fázi, tendenci volit větší počet kousků, pokud byly předkládány v poměru 1:2. Příčinou mohlo být rozdělení jednoho kusu na dvě poměrně velké části a jedinci tedy upřednostnili počet kousků před jejich velikostí. Počet kousků v poměru 1:3 byl v této fázi volen náhodně. Z důvodu malého počtu opakování jsou ale tyto výsledky signifikantně neprůkazné (graf č. 25).

Souhrnné výsledky 1. a 2. fáze ukazují signifikantní rozdíl ve volbě v poměru 1:2, kde opice volily dva kousky, zatímco v poměrech 1:3, 2:3 a 2:4 volily méně kousků. Ve třetí fázi, kdy se změnil rozestup mezi dílky, se od volby více kousků v poměru 1:2 lišily poměry 1:4 a 1:5, ve kterých opice volily také méně kousků. Volba v těchto prezentovaných poměrech se nijak neliší od náhodné volby v celkové analýze, není zde vidět jasná preference velikosti

nebo množství. Objevují se jen určité dílčí preference v konkrétních kategoriích (poměrech) (graf č. 16).

Další experiment kombinoval předchozí experiment *relativní početnosti* (experiment 1), kdy je volba setu s větším objemem ta správná, a *preferenční experiment* (experiment 2a), ve kterém jsou oba sety, co se týče objemu rovnocenné a správná volba tedy neexistuje.

Ve *čtvrté fázi* v grafech č. 18-21, je možné vidět i řešení ve složitějších kognitivních úlohách. Ty zahrnovaly prezentace, ve kterých jsou samcům předloženy sety, ve kterých je odebrána nebo přidána odměna, která odpovídá velikosti menších částí (tabulka č. 8). Tyto grafy ukazují, že samci sice volili „racionálně“ při předloženém poměru $1: \frac{3}{2}$, nicméně u ostatních kategorií často zvolili „nesprávnou volbu“ z hlediska množství získané potravy vybírali častěji $\frac{2}{3}$ oproti jednomu celému kusu a naopak jeden kus oproti $\frac{4}{3}$. Rozdíl ve volbě $\frac{2}{3}$ v poměru $1: \frac{2}{3}$ byl signifikantně větší, přestože tak opice získaly menší množství potravy (graf č. 19). Překvapilo mě, že makaci často volili menší množství odměny, v případech, kdy si mohli vybrat mezi jedním celým kusem nebo půlkou stejně velkého kusu. Tento rozdíl velikostí mi připadal markantní, proto jsem nechápala jejich opakovanou volbu, ale je dost možné, že za tento výběr opět může nižší motivace nebo nepozornost stejně jako při volbě menšího množství v poměru $1: \frac{2}{3}$.

Ve výběru početnějšího množství odměny byl nejúspěšnější *Dante*, který jako jediný často vybíral správně jeden celý kus proti $\frac{1}{2}$ kusu, a to v 75% případů (graf č. 21).

Tato kognitivní část úlohy byla pro makaky patrně obtížná, protože spíše volili menší množství odměny (graf č. 19). Opice byly v porovnání s dalšími poměry úspěšnější ve volbě v poměru $1: \frac{3}{2}$, pouze *Vergilius* volil v tomto poměru zcela náhodně a v celé části tohoto experimentu byl ze všech jedinců nejméně úspěšný (graf č. 18C). Proti tomu *Dante* velmi často volil v poměru $1: \frac{3}{2}$ větší množství odměny a byl i v celé této kognitivní části experimentu nejúspěšnější (graf č. 18D a č. 21). Slabý výkon ostatních opic mohl být způsoben například sníženou pozorností způsobenou dlouhodobým testováním, ale také vysokou kognitivní náročností úlohy. Vzhledem k tomu, že opice získaly minimální odměnu i v případě chybné volby, nebyly příliš nuceny k jejímu kognitivnímu řešení. Důvodem však mohlo být také příliš rychlé provedení volby.

Při porovnání všech voleb stejných poměrů v preferenčním experimentu (experiment 2a) a kognitivní úloze zjišťující schopnost reprezentace relativní početnosti (experiment 1),

volil *Dante* menší počet kousků v obou úlohách při prezentovaném poměru 1:3 (graf č. 5D a č. 10D). Stejně tak starší jedinec *Puck* volil při poměru 2:3 menší počet kousků (graf č. 5B a č. 12B), zatímco při poměru 1:4 a 1:5 volil větší počet prvků a to v kognitivní i nekognitivní úloze (graf č. 5B a č. 10B). Attilova motivace se nezvýšila ani po roce při změně úlohy a jeho volby byly víceméně náhodné. Zvýšení jeho motivace jsem ale neočekávala, obzvlášť poté, co se začala měnit hierarchie ve skupině, a mladší jedinci mezi sebou začali bojovat o vyšší postavení. Obzvlášť v tuto chvíli se Attilova pozornost upírala na *Danteho* a jeho motivace řešit úlohu se ještě snížila, zejména při nekognitivních úlohách, kdy po jakékoliv volbě získal alespoň nějakou odměnu.

Preferenční experiment mohl sloužit také jako kontrola prvního experimentu, kdy jsem testovala, zda makaci systematicky nepreferují nějaký konkrétní počet, což by mohlo ovlivnit i výsledky relativní početnosti. Kromě určité tendence *Danteho* volit menší počet objektů proti 3 objektům (v experimentech 1 a 2a), žádná jiná systematická preference nebo naopak potlačení konkrétního počtu nebyla pozorována.

V ekvivalentních experimentech s *děťmi* se jejich preference neukázala závislá na jejich věku ani pohlaví (graf č. 22 a 23, č. 25), i když v experimentu bylo zatím příliš málo dětí, aby mi to umožnilo dělat relevantní srovnání v těchto kategoriích. Nicméně bych ze svých pozorování řekla, že starší děti častěji vybíraly okurku rozdělenou na více kousků než mladší děti, které spíše volily větší kus okurky. Protože hodně dětí testování nedokončilo a mám tedy menší vzorek testovaných jedinců, než jsem předpokládala, nemohu tuto svoji domněnku potvrdit. Souhrnné výsledky všech dětí ukazují dvojnásobně vyšší preferenci většího počtu kousků, než výběr menšího počtu větších kusů (graf č. 26). Někdy mi děti i bez dotázání řekly: “že si vezmou tento talířek (s více kousky), protože je tam víc okurky“ a to bude nejspíš i důvod jejich preference počtu kousků okurky nad jejich velikostí.

Všechny děti k této úloze přistupovaly s velkým zaujetím. Mnohdy nastala situace, kdy mě děti i po experimentu prosily o další kousky okurky. Tím jsem si znovu ověřila jejich potravní preferenci a sobě potvrdila, že jsem správně zvolila vhodný stimul.

Na závěr jsem porovnávala preferenci množství nebo velikosti *děťmi* a *makaků* (graf č. 27). Jsem si vědoma, že toto srovnání platí jen omezeně, protože se mezi sebou experimenty

metodicky liší. Nicméně u dětí je vidět jasná tendence volit větší počet kousků, zatímco testování makaci volí spíše náhodně.

Výsledky těchto experimentů testujících preferenci velikosti nebo množství nejsou vzhledem k nízkému počtu testovaných jedinců a malému počtu opakování zatím zcela průkazné. Oba experimenty u makaků i u dětí mají určité limity, protože v experimentu s opicemi máme relativně malý počet jedinců, zatímco u dětí jsme mohli prezentovat menší počet opakování. Je proto zapotřebí velké obezřetnosti při interpretaci. Moje závěry tak představují spíše určité pozorované tendence, které budu sledovat v dalších experimentech, a poté je budu moci lépe upřesnit.

4. Závěr

Tato práce pojednává o kognitivních numerických schopnostech. V teoretické části práce jsem se věnovala dosavadnímu výzkumu této schopnosti a uvedla jsem přehled studií především u primátů, zmínila jsem však i experimenty u dalších obratlovců a bezobratlých.

V experimentální části své práce jsem testovala čtyři jedince druhu makak rhesus (*Macaca mulatta*) v několika úlohách: (1) reprezentace relativní početnosti (v rozlišení menšího a většího počtu položek), (2) v dalších úlohách jsem zjišťovala preferenci velikosti nebo množství kousků potravy. V tomto testu jsem sledovala preferenci většího počtu menších kousků nebo naopak preferenci menšího počtu kousků větší velikosti, kdy oba předložené sety měly stejný celkový objem a lišily se pouze v počtu. Tuto preferenci jsem také studovala u dětí v předškolním věku (experiment 2b).

V první části experimentů jsem prokázala schopnost makaků spontánně reprezentovat množství do 4 položek v kognitivních úlohách s jednoznačným řešením, kterým je volba více prvků. Předpokládala jsem, že makak bude spontánně volit více kousků. Mé výsledky jsou v souladu s Weberovým zákonem, který říká, že úspěšnost stoupá spolu s velikostí rozdílu mezi dvěma sety, stejně jako tomu bylo i v experimentech manželů Hauserových (2000), kteří také testovali schopnost relativní početnosti u makaků.

V experimentech designovaných jako úlohy bez jednoznačného řešení (co se týče objemu získané potravy), tedy úloh preferenčních, se volba množství nebo velikosti ukázala spíše náhodná.

V dalších fázích experimentu testujících nejen makaky, ale i děti, jsem sledovala jejich preferenci velikosti nebo množství. U dětí jsem pozorovala vyšší preferenci většího množství oproti větší velikosti, zatímco makaci volili v těchto úlohách náhodně.

5. Použitá literatura

- Baker, J. M., Shivik, J., & Jordan, K. E. (2011). Tracking of food quantity by coyotes (*Canis latrans*). *Behavioural processes*, 88(2), 72-75.
- Bar-Shai, N., Keasar, T., & Shmida, A. (2011). The use of numerical information by bees in foraging tasks. *Behavioral Ecology*, 22(2), 317-325.
- Benson-Amram, S., Heinen, V. K., Dryer, S. L., & Holekamp, K. E. (2011). Numerical assessment and individual call discrimination by wild spotted hyaenas, *Crocuta crocuta*. *Animal Behaviour*, 82(4), 743-752.
- Beran, M. J. (2007). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) succeed on a computerized test designed to assess conservation of discrete quantity. *Animal Cognition*, 10(1), 37-45.
- Beran, M. J. (2008). Capuchin monkeys (*Cebus apella*) succeed in a test of quantity conservation. *Animal cognition*, 11(1), 109-116.
- Beran, M. J., & Rumbaugh, D. M. (2001). "Constructive" enumeration by chimpanzees (*Pan troglodytes*) on a computerized task. *Animal Cognition*, 4(2), 81-89.
- Beran, M. J., Evans, T. A., Leighty, K. A., Harris, E. H., & Rice, D. (2008). Summation and quantity judgments of sequentially presented sets by capuchin monkeys (*Cebus apella*). *American Journal of Primatology*, 70(2), 191-194.
- Beran, M. J., Johnson-Pynn, J. S., & Ready, C. (2011). Comparing children's *Homo sapiens* and chimpanzees' *Pan troglodytes* quantity judgments of sequentially presented sets of items. *Current Zoology*, 57(4), 419-428.
- Beran, M. J., Rumbaugh, D. M., & Savage-Rumbaugh, E. S. (1998). Chimpanzee ("*Pan troglodytes*") Counting in a Computerized Testing Paradigm. *The Psychological Record*, 48(1), 3.
- Boysen, S. T., Berntson, G. G., Shreyer, T. A., & Quigley, K. S. (1993). Processing of ordinality and transitivity by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology*, 107(2), 208.
- Brannon, E. M. (2002). The development of ordinal numerical knowledge in infancy. *Cognition*, 83(3), 223-240.
- Brannon, E. M., & Terrace, H. S. (1998). Ordering of the numerosities 1 to 9 by monkeys. *Science*, 282(5389), 746-749.
- Call, J., & Rochat, P. (1996). Liquid conservation in orangutans (*Pongo pygmaeus*) and humans (*Homo sapiens*): Individual differences and perceptual strategies. *Journal of Comparative Psychology*, 110(3), 219.
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2007). Basic math in monkeys and college students. *PLoS Biol*, 5(12), e328.
- Capaldi, E. J., & Miller, D. J. (1988). Counting in rats: Its functional significance and the independent cognitive processes that constitute it. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 14(1), 3.
- Carazo, P., Font, E., Forteza-Behrendt, E., & Desfilis, E. (2009). Quantity discrimination in *Tenebrio molitor*: evidence of numerosity discrimination in an invertebrate?. *Animal cognition*, 12(3), 463-470.

- Czerny, P., & Thomas, R. K. (1975). Sameness-difference judgments in *Saimiri sciureus* based on volumetric cues. *Animal Learning & Behavior*, 3(4), 375-379.
- Davis, H. (1984). Discrimination of the number three by a raccoon (*Procyon lotor*). *Animal Learning & Behavior*, 12(4), 409-413.
- Davis, H. (1996). Numerical Competence in Ferrets. *International Journal of Comparative Psychology*, 9(2).
- Davis, H., & Pérusse, R. (1988). Numerical competence in animals: Definitional issues, current evidence, and a new research agenda. *Behavioral and Brain Sciences*, 11(04), 561-579.
- Emmerton, J., Lohmann, A., & Niemann, J. (1997). Pigeons' serial ordering of numerosity with visual arrays. *Animal Learning & Behavior*, 25(2), 234-244.
- Feigenson, L., Carey, S., & Hauser, M. (2002). The representations underlying infants' choice of more: Object files versus analog magnitudes. *Psychological Science*, 13(2), 150-156.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307-314.
- Flombaum, J. I., Junge, J. A., & Hauser, M. D. (2005). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) spontaneously compute addition operations over large numbers. *Cognition*, 97(3), 315-325.
- Gálik, M., 2014. Test stálosti objektu u primátov. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Praha.
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44(1), 43-74.
- Gross, H. J., Pahl, M., Si, A., Zhu, H., Tautz, J., & Zhang, S. (2009). Number-based visual generalisation in the honeybee. *PloS one*, 4(1), e4263.
- Hauser, M. D., Carey, S., & Hauser, L. B. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 267(1445), 829-833.
- Hauser, M. D., MacNeilage, P., & Ware, M. (1996). Numerical representations in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(4), 1514-1517.
- Hicks, L. H. (1956). An analysis of number-concept formation in the Rhesus monkey. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 49(3), 212.
- Hirai, S., & Jitsumori, M. (2009). Counting absolute numbers of items, from 1 to 8, in pigeons. *Learning & behavior*, 37(4), 365-379.
- Houdé, O. (1997). Numerical development: From the infant to the child. Wynn's (1992) paradigm in 2-and 3-year olds. *Cognitive Development*, 12(3), 373-391.
- Kilian, A., Yaman, S., von Fersen, L., & Güntürkün, O. (2003). A bottlenose dolphin discriminates visual stimuli differing in numerosity. *Animal Learning & Behavior*, 31(2), 133-142.
- Lin, G., Wang, Y., & Yang, H. (1990). Sameness-difference Judgments of Numerousness by Monkeys: *Macaca mulatta* and *Macaca*. *Issue: International Journal of Comparative Psychology*, 3 (4).
- MacDonald, S. E. (1994). Gorillas' (*Gorilla gorilla gorilla*) spatial memory in a foraging task. *Journal of Comparative Psychology*, 108(2), 107.

- Matsuzawa, T. (1985). Colour naming and classification in a chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Journal of Human Evolution*, 14(3), 283-291.
- McComb, K., Packer, C., & Pusey, A. (1994). Roaring and numerical assessment in contests between groups of female lions, *Panthera leo*. *Animal Behaviour*, 47(2), 379-387.
- Mou, Y., Province, J. M., & Luo, Y. (2014). Can infants make transitive inferences?. *Cognitive psychology*, 68, 98-112.
- Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality.
- Nieder, A., Freedman, D. J., & Miller, E. K. (2002). Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science*, 297(5587), 1708-1711.
- Odell, N. S., & Eadie, J. M. (2010). Do wood ducks use the quantity of eggs in a nest as a cue to the nest's value?. *Behavioral Ecology*, arq055.
- Olthof, A., & Roberts, W. A. (2000). Summation of symbols by pigeons (*Columba livia*): The importance of number and mass of reward items. *Journal of Comparative Psychology*, 114(2), 158.
- Pepperberg, I. M. (2013). Abstract concepts: data from a grey parrot. *Behavioural processes*, 93, 82-90.
- Perdue, B. M., Talbot, C. F., Stone, A. M., & Beran, M. J. (2012). Putting the elephant back in the herd: elephant relative quantity judgments match those of other species. *Animal cognition*, 15(5), 955-961.
- Pfuhl, G., & Biegler, R. (2012). Ordinality and novel sequence learning in jackdaws. *Animal cognition*, 15(5), 833-849.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children* (Vol. 8, No. 5, pp. 18-1952). New York: International Universities Press.
- Pisa, P. E., & Agrillo, C. (2009). Quantity discrimination in felines: a preliminary investigation of the domestic cat (*Felis silvestris catus*). *Journal of Ethology*, 27(2), 289-293.
- Rayburn-Reeves, R. M., Miller, H. C., & Zentall, T. R. (2010). "Counting" by pigeons: Discrimination of the number of biologically relevant sequential events. *Learning & Behavior*, 38(2), 169-176.
- Rugani, R., Fontanari, L., Simoni, E., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2009). Arithmetic in newborn chicks. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 276(1666), 2451-2460.
- Rugani, R., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2008). Discrimination of small numerosities in young chicks. *Journal of experimental psychology: Animal behavior processes*, 34(3), 388.
- Rumbaugh, D. M., Savage-Rumbaugh, S., & Hegel, M. T. (1987). Summation in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 13(2), 107.
- Santos, L. R., Barnes, J. L., & Mahajan, N. (2005). Expectations about numerical events in four lemur species (*Eulemur fulvus*, *Eulemur mongoz*, *Lemur catta* and *Varecia rubra*). *Animal Cognition*, 8(4), 253-262.
- *Sebeok, T. A., & Rosenthal, R. E. (1981). The Clever Hans phenomenon: Communication with horses, whales, apes, and people. *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Schmitt, V., & Fischer, J. (2011). Representational format determines numerical competence in monkeys. *Nature communications*, 2, 257.

- Smirnova, A. A., Lazareva, O. F., & Zorina, Z. A. (2003). Prototype symbolization in hooded crows. *Neuroscience and behavioral physiology*, 33(4), 335-348.
- Sophian, C. (1995). Representation and reasoning in early numerical development: Counting, conservation, and comparisons between sets. *Child Development*, 66(2), 559-577.
- Straub, R. O., & Terrace, H. S. (1981). Generalization of serial learning in the pigeon. *Animal Learning & Behavior*, 9(4), 454-468.
- Sulkowski, G. M., & Hauser, M. D. (2001). Can rhesus monkeys spontaneously subtract?. *Cognition*, 79(3), 239-262.
- Terrell, D. F., & Thomas, R. K. (1990). Number-related discrimination and summation by squirrel monkeys (*Saimiri sciureus sciureus* and *S. boliviensis boliviensis*) on the basis of the number of sides of polygons. *Journal of Comparative Psychology*, 104(3), 238.
- Thomas, R. K., Fowlkes, D., & Vickery, J. D. (1980). Conceptual numerosness judgments by squirrel monkeys. *The American journal of psychology*, 247-257.
- Ujfalussy, D. J., Miklósi, Á., Bugnyar, T., & Kotrschal, K. (2014). Role of mental representations in quantity judgments by jackdaws (*Corvus monedula*). *Journal of Comparative Psychology*, 128(1), 11.
- Uller, C., & Lewis, J. (2009). Horses (*Equus caballus*) select the greater of two quantities in small numerical contrasts. *Animal cognition*, 12(5), 733-738.
- Uller, C., Jaeger, R., Guidry, G., & Martin, C. (2003). Salamanders (*Plethodon cinereus*) go for more: rudiments of number in an amphibian. *Animal cognition*, 6(2), 105-112.
- Utrata, E., Virányi, Z., & Range, F. (2012). Quantity discrimination in wolves (*Canis lupus*). *Frontiers in psychology*, 3, 505.
- Ward, C., & Smuts, B. B. (2007). Quantity-based judgments in the domestic dog (*Canis lupus familiaris*). *Animal cognition*, 10(1), 71-80.
- Washburn, D. A., & Rumbaugh, D. M. (1991). Ordinal judgments of numerical symbols by macaques (*Macaca mulatta*). *Psychological Science*, 2(3), 190-193.
- West, R. E., & Young, R. J. (2002). Do domestic dogs show any evidence of being able to count?. *Animal cognition*, 5(3), 183-186.
- Wood, J. N., Hauser, M. D., Glynn, D. D., & Barner, D. (2008). Free-ranging rhesus monkeys spontaneously individuate and enumerate small numbers of non-solid portions. *Cognition*, 106(1), 207-221.
- Woodruff, G., & Premack, D. (1981). Primitive mathematical concepts in the chimpanzee: proportionality and numerosity. *Nature*.
- Woodruff, G., Premack, D., & Kennel, K. (1978). Conservation of liquid and solid quantity by the chimpanzee. *Science*, 202(4371), 991-994.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358(6389), 749-750.
- Xu, F. (2003). Numerosity discrimination in infants: Evidence for two systems of representations. *Cognition*, 89(1), B15-B25.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.